

Konstruktion eines Verfahrens zur Signifikanzbewertung von Änderungen im europäischen Eisenbahnwesen

Von der
Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhemina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

Von
Nicolas Petrek
geboren am 15.09.1982
aus Braunschweig

Eingereicht am	13. Januar 2014
Disputation am	11. Juli 2014

Berichterstatter	Prof. Dr. rer. nat. Jens Braband Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht
------------------	---

Vorwort

Diese Arbeit entstand auf Grundlage meines Stipendiums im Bereich „Rail Automation“ bei der Siemens AG am Standort Braunschweig. Für die Möglichkeit meine Arbeit mit diesem unmittelbaren Praxisbezug und der Unterstützung durch die Siemens AG schreiben zu können, gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. rer. nat. Jens Braband. Gleichzeitig möchte ich ihm vor allem auch für die hervorragende fachliche Unterstützung und die zahlreichen gemeinsamen Diskussionen danken. Dies betrifft zudem den durch Herrn Prof. Dr. rer. nat. Jens Braband organisierten Graduiertenkolleg mit den regelmäßig stattfindenden RAGS-Workshops, der einen Austausch mit allen Doktoranden der Siemens AG im Bereich „Rail Automation“ ermöglicht hat. Darüber hinaus danke ich an dieser Stelle auch meinen RAMS-Kollegen für die vielen fachlichen wie auch persönlichen Gesprächen in meiner Zeit bei der Siemens AG.

Mein Dank gilt insbesondere auch Frau Dr.-Ing. Birgit Milius, mit der ich viele gemeinsame Diskussionen beim Vergleich des „Safety Scannings“ mit dem CSM-Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen geführt habe, die schlussendlich zu einem wissenschaftlichen Beitrag bei der ESREL 2011 geführt haben. Darüber hinaus haben mir die SIT-Workshops, die durch Frau Dr.-Ing. Birgit Milius sowie Herrn Prof. Dr. rer. nat. Jens Braband und Herrn Dr. rer. nat. habil. Hendrik Schäbe jährlich in Kooperation mit dem IfEV organisiert werden, die Möglichkeit für einen regen fachlichen Austausch gegeben. Zudem möchte ich Prof. Dr. Heinz-Peter Berg vom Bundesamt für Strahlenschutz für seine unvergleichliche Bereitschaft danken, die er mir zu Teil kommen lassen hat, wann immer ich Fragen zur Sicherheit im Bereich der Kerntechnik hatte.

Gleichzeitig möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht stellvertretend in seiner Funktion als Leiter des IfEVs danken, da ohne dieses Institut und die zahlreichen dort tätigen und hier zum Großteil ungenannten Mitarbeiter diese Arbeit nicht entstanden wäre. Dies betrifft insbesondere die zahlreichen wissenschaftlichen Kontakte, die über Veranstaltungen und Vorlesungen dieses Instituts zum Teil noch während meines Studiums zu Stande gekommen sind.

Darüber hinaus danke ich meinem guten Freund André Schumacher für seine Zeit und die zahlreichen Gespräche und Kaffeepausen in den Monaten des Schreibens meiner Arbeit. Und besonders möchte ich auch meinen Eltern für Ihre Unterstützung während der gesamten Schul- und Studienzeit danken, da ohne sie diese Arbeit letztendlich nicht möglich gewesen wäre. Auch danke ich Ihnen für die Hilfe und Unterstützung während meiner Promotion, die sich nicht zuletzt auf das Korrekturlesen dieser Arbeit erstreckt hat.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name
Geburtsdatum /-ort
Staatsangehörigkeit
Familienstand
Anschrift

Nicolas Petrek
*15. September 1982 in Braunschweig
deutsch
ledig
Klint 9
38100 Braunschweig
mail: nicolas.petrek@gmail.com



Hochschulausbildung:

10/2003 – 03/2010

Wirtschaftsingenieurwesen Bauingenieurwesen
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
Studienschwerpunkte:
- Spurgeführter Verkehr
- Infrastrukturplanung und –management
- Finanzwirtschaft
- Marketing

03/2009

Studienarbeit, Thema: „Bewertung der Eignung der Safety Screening Technique im Eisenbahnwesen“
(Note: Sehr gut)
Auszeichnung der Studienarbeit mit dem Studentenpreis für herausragende Leistungen in den Bereichen Mobilität – Verkehr – Transport – Telematik des ITS Niedersachsens

03/2009 – 09/2009

Urlaubssemester für viermonatiges Baupraktikum

03/2010

Diplomarbeit, Thema: „Analyse und Strukturierung der Funktionalitäten von Positive Train Control“
(Note: Sehr gut)
Vorstellung der Ergebnisse auf dem Rail Automation Forum des Instituts für Eisenbahnverkehr und Verkehrssicherung

03/2010

Hochschulabschluss mit dem Abschluss Diplom-Wirtschaftsingenieur (Note: Gut)

Wissenschaftliche
Veröffentlichungen:

- | | |
|---------|--|
| 10/2014 | Teilnahme am 10 th FORMS/FORMAT Symposium on Formal Methods in Braunschweig mit dem Paper zum Thema „A New Approach for Judging the Significance of Changes in European Railways” |
| 09/2014 | Teilnahme an der ESREL-Konferenz in Wroclaw, Polen mit dem Paper zum Thema „Comparing the two methods for judging changes in European railways and in European nuclear safety“ mit Prof. Dr. Heinz-Peter Berg vom Bundesamt für Strahlenschutz |
| 09/2011 | Teilnahme an der ESREL-Konferenz in Troyes, Frankreich mit dem Paper zum Thema „Adapting the Air Traffic Management Safety Screening Technique for Railways“ zusammen mit Frau Dr.-Ing. Birgit Milius |

Schulausbildung/
Ersatzdienst:

- | | |
|-------------------|--|
| 08/1995 – 05/2002 | Hoffmann von Fallersleben Gymnasium, Braunschweig
Abschluss: Abitur (Note: 2,0) |
| 09/2002 – 06/2003 | Zivildienst, Jugendzentrum B58
Tätigkeitsbereich: Betreuung von Kindern und Jugendlichen sowie hausmeisterliche Tätigkeiten |

Berufserfahrung:

- | | |
|-------------------|--|
| 04/2010 – 09/2013 | Stipendiat bei der Siemens AG als Doktorand sowie Teilnahme an den Workshops des Graduiertenkollegs |
| 12/2009 – 03/2010 | Diplomand bei der Siemens AG |
| 06/2006 – 04/2010 | Organisation des Parkhaus Steinstraße/ am Bankplatz in Braunschweig und Immobilienmanagement beim Bauträger W.R. Büttner |

Außeruniversitäre
Tätigkeiten:

10/2005 – 03/2010

Mitglied der studentischen Unternehmensberatung Consult
One e.V.
01/2007 – 06/2007 Vorstand für Marketing
07/2007 – 09/2007 Pro Bono Projekt bei der SOS
Kinderdorf e.V.

05/2006 – 07/2007

Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter des Leichtweiß-Instituts
für Wasserbau Abteilung Abfallwirtschaft
Tätigkeitsbereich: Selbstständige Organisation und
Durchführung von Probennahme und Analytik von
Feststoffproben

Sprachkenntnisse:

Englisch (verhandlungssicher)
Französisch (Grundkenntnisse)

EDV-Kenntnisse:

MS Office
IBM SPSS Statistics
Java
Adobe Photoshop

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Ziel dieser Arbeit	2
2	RECHTLICHER HINTERGRUND	4
2.1	Die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie	4
2.1.1	Bestimmungen zu Sicherheitsmanagementsystemen	5
2.1.2	Die gemeinsamen Sicherheitsmethoden - CSM	7
2.1.3	Die wesentlichen Teile des harmonisierten Risikomanagementverfahrens	8
2.1.3.1	Vorläufige Systemdefinition und Verfahren zur Bewertung von Änderungen	8
2.1.3.2	Systemdefinition	8
2.1.3.3	Gefährdungsermittlung	9
2.1.3.4	Risikoanalyse und -evaluierung	9
2.2	Risikoanalysen im Eisenbahnwesen	10
2.2.1	Das V-Modell der EN 50126 und seine Phasen	11
2.2.2	Vergleich der EN 50126 mit dem CSM-Risikomanagementprozess	11
2.3	Bewertung des rechtlichen Hintergrunds mit Hinblick auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung	14
3	SIGNIFIKANZBEWERTUNG VON ÄNDERUNGEN	15
3.1	Verfahren der CSM-Verordnung	15
3.2	Veröffentlichungen der ERA zur CSM-Verordnung	18
3.2.1	Vorliegende Dokumente der ERA zur CSM-Verordnung	19
3.2.2	Vorliegende Beispiele von Änderungen der ERA	24
3.2.2.1	Beispiel 1 einer betrieblichen Änderung	25
3.2.2.2	Beispiel 2 einer technischen Änderung	25
3.2.2.3	Beispiel 3 einer technischen Änderung	26
3.2.2.4	Beispiel 4 einer betrieblichen Änderung	26
3.2.2.5	Beispiel 5 einer organisatorischen Änderung	27
3.2.2.6	Neue Erkenntnisse aus der Betrachtung der Beispiele	28
3.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Erläuterung des weiteren Vorgehens	32
3.3.1	Erkenntnisse hinsichtlich der Definition wesentlicher Begriffe	32
3.3.2	Anwendung des Verfahrens und die Gewichtung der Kriterien	33
3.3.3	Verständnis der Kriterien zur Signifikanzbewertung	33
3.3.4	Erläuterung des weiteren Vorgehens	34
4	AUSWEITUNG DER BETRACHTUNG	35
4.1	Verfahren zur Änderungsbewertung in eisenbahnfremden Bereichen	35
4.1.1	Safety Scanning in der Europäischen Luftsicherung	35
4.1.1.1	Der Ursprung des Modells der Safety Fundamentals	35
4.1.1.2	Anwendung des Safety Scannings	36
4.1.1.3	Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung	39
4.1.1.4	Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens	43
4.1.2	Die Bewertung von Änderungen an technischen Anlagen und Maschinen	44
4.1.2.1	Das Verfahren bei Anlagenänderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz	45

4.1.2.2	Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung	46
4.1.2.3	Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens	47
4.1.3	Umgang mit Änderungen in der Kerntechnik	48
4.1.3.1	Nationale Vorschriften	50
4.1.3.2	Die Bewertung von Änderungen im Bundesland Baden-Württemberg	51
4.1.3.3	Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens	54
4.1.4	Aufwandsbewertung in der Softwareentwicklung nach COCOMO	55
4.1.4.1	Erläuterung des Modells COCOMO II	56
4.1.4.2	Die Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells	58
4.1.4.3	Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung	59
4.1.4.4	Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens	61
4.1.5	Erkenntnisse aus der Betrachtung der Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen	62
4.2	Neue Ansätze und Verfahren im Eisenbahnwesen	64
4.2.1	Verfahren der ÖBB zur Bewertung von Änderungen	64
4.2.2	Verfahren der SBB zur Bewertung von Änderungen	67
4.2.3	Verfahren des ORR zur Bewertung von Änderungen	73
4.2.4	Vorschlag des VDB, der DB AG und des VDV zur Signifikanzbewertung	77
4.2.5	Signifikanz von Änderungen aufgrund relevanter Regelwerke	81
4.2.6	Verfahren der DB zur Bewertung von Änderungen	82
4.2.7	Verfahren zur Signifikanzbewertung anhand einer Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix	88
4.2.8	Erkenntnisse aus der Betrachtung der Verfahren und Ansätze	91
4.3	Darstellung der weiteren Entwicklung im Bereich der CSM-Verordnung	92
4.3.1	Darstellung der Diskussion zum Thema CSM	93
4.3.2	Revision der CSM-Verordnung	94
4.3.3	Vortrag der ERA bezüglich der deutschen CSM-Erfahrungen	95
5	ERKENNTNISSE HINSICHTLICH DER SIGNIFIKANZBEWERTUNG	98
5.1	Erkenntnisse hinsichtlich der wesentlichen Begriffe	98
5.1.1	Erkenntnisse hinsichtlich des Begriffs der Änderung	98
5.1.2	Erkenntnisse hinsichtlich des Begriffs der Signifikanz sowie der Signifikanzbewertung	99
5.2	Erkenntnisse hinsichtlich der Art des Verfahrens	101
5.3	Erkenntnisse hinsichtlich der Kriterien zur Signifikanzbewertung	102
5.3.1	Abgrenzung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Ausfällen“	102
5.3.2	Diskussion des Kriteriums „Folge von Ausfällen“	104
5.3.3	Grundlegende Diskussion der Relevanz der qualitativen Kriterien	105
5.3.4	Diskussion der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“	107
5.3.5	Diskussion des Kriteriums „Überwachung“	108
5.3.6	Diskussion des Kriteriums „Umkehrbarkeit“	108
5.4	Übersicht über die Kriterien und ihre Kategorien	110
5.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse	111
6	WEITERGEHENDE UNTERSUCHUNGEN	114
6.1	Übersicht über die multivariate Statistik	114
6.2	Erläuterung der relevanten statistischen Verfahren	115
6.2.1	Diskriminanzanalyse	115
6.2.2	Logistische Regressionsanalyse	119

6.3	Diskussion des weiteren Vorgehens	121
6.4	Diskussion und Bewertung der Änderungen	121
6.4.1	Beispiele von Änderungen des NeGSt-Berichts	121
6.4.2	Beispiele von Änderungen der ERA-Dokumente	122
6.4.3	Beispiele von Änderungen aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen	123
6.4.4	Beispiele von Änderungen der SBB	124
6.4.5	Diskussion der vorliegenden Daten	125
6.5	Anwendung der Diskriminanzanalyse	126
6.5.1	Überprüfung der Randbedingungen	126
6.5.2	Erläuterung der Diskriminanzanalyse der vorhandenen Datenbasis	128
6.5.3	Betrachtung der Diskriminanzfunktion	128
6.5.4	Betrachtung der Merkmalsvariablen	131
6.5.5	Betrachtung der Merkmalsvariablen „Umkehrbarkeit“ und „Komplexität“	132
6.5.6	Klassifikation neuer Elemente	134
6.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	138
6.7	Beschreibung des vollständigen Verfahrens	140
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	142
7.1	Zusammenfassung	142
7.2	Ausblick	143
8	ANHANG	145
8.1	Anhang zum Kapitel 2	145
8.1.1	Die gemeinsamen Sicherheitsindikatoren	145
8.1.2	Die gemeinsamen Sicherheitsziele	146
8.1.3	Nationale Sicherheitsvorschriften	146
8.1.4	Die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität	147
8.1.5	Die Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung	147
8.1.6	Sicherheitsbescheinigung und Sicherheitsgenehmigung	148
8.1.7	CSM on Supervision und CSM on Monitoring	149
8.2	Anhang des Kapitels 4	150
8.2.1	Anhang zum Verfahren Safety Scanning	150
8.2.1.1	Übersicht über die Herkunft der Fundamentals	150
8.2.1.2	Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsmanagement	152
8.2.1.3	Das grundlegende Systemmodell im Safety Scanning	152
8.2.2	Anhang zum Verfahren in der Kerntechnik	154
8.2.2.1	Die zehn grundlegenden Sicherheitsgrundsätze der IAEA	154
8.2.2.2	Vorgehen der IAEA im Umgang mit Änderungen und Modifikationen	154
8.2.3	Anhang zum COCOMO II-Modell	156
8.2.3.1	Transformation der Formel zur Berechnung des Projektaufwands	156
8.2.3.2	Die Post-Architecture-Kostentreiber	157
8.2.3.3	Die Early-Design-Kostentreiber	158
8.2.4	Anhang zum ORR-Verfahren: Diagramm mit Übersicht über die Anwendung	160
8.2.5	Anhang zum DB-Verfahren: Erläuterung des Punkteschemas	160
8.3	Anhang des Kapitels 6	162
8.3.1	Tabelle mit der Übersicht über alle Änderungen	162

8.3.2	Erläuterung der Bewertung der SBB-Beispiele	163
8.3.2.1	SBB-Beispiel Nummer 1	163
8.3.2.2	SBB-Beispiel Nummer 2	163
8.3.2.3	SBB-Beispiel Nummer 3	163
8.3.2.4	SBB-Beispiel Nummer 4	164
8.3.2.5	SBB-Beispiel Nummer 5	164
8.3.2.6	SBB-Beispiel Nummer 6	164
8.3.2.7	SBB-Beispiel Nummer 7	164
8.3.2.8	SBB-Beispiel Nummer 8	164
8.3.2.9	SBB-Beispiel Nummer 9	165
8.3.2.10	SBB-Beispiel Nummer 10	165
8.3.2.11	SBB-Beispiel Nummer 11	165
8.3.3	Kovarianz-Matrizen für die betrachtete Datenbasis	166
8.3.4	Standardisierung der Diskriminanzkoeffizienten	166
8.3.5	Klassifizierungsergebnisse unter Ausschluss der Variable „Komplexität“	167
8.3.6	Klassifizierungsergebnisse unter Ausschluss der Variable „Umkehrbarkeit“	168
8.3.7	Diskriminanzanalyse ohne die Beispiele Nummer 3 und 8	168
8.3.8	Kreuzvalidierung	171
8.3.9	Klassifikation neuer Elemente anhand der Formel mit Werten ohne Nachkommastellen	172
8.3.10	Vergleich der Punktwerte des entwickelten Verfahrens und des DB-Verfahrens	173
8.3.11	Logistische Regressionsanalyse	174
8.4	Anhang zur Anwendung des Programms R	177
8.5	Anhang zum Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen	179
9	TERMINOLOGIE	183
10	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	185
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	189
12	TABELLENVERZEICHNIS	190
13	LITERATURVERZEICHNIS	193

Zusammenfassung

Die Vereinheitlichung der europäischen Normen hat im europäischen Eisenbahnwesen zur Veröffentlichung der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie geführt, die unter anderem eine Einführung von gemeinsamen Sicherheitsmethoden zur Gewährleistung eines hohen Sicherheitsniveaus fordern. Für diesen Zweck wurde im Jahr 2009 die CSM-Verordnung durch die europäische Kommission veröffentlicht, deren wesentlicher Bestandteil ein harmonisiertes Risikomanagementverfahren ist. Die Anwendung dieses harmonisierten Verfahrens ist bei signifikanten Änderungen zwingend erforderlich, wodurch der Prüfung der Signifikanz der Änderung eine entscheidende Bedeutung zukommt. In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen konstruiert, das den Anforderungen der genannten CSM-Verordnung entspricht und darüber hinaus die Erkenntnisse aus den für diesen Bereich bereits vorliegenden Ansätzen und Verfahren berücksichtigt. Hierzu wird zunächst der relevante rechtliche Hintergrund dargestellt, was insbesondere die in der europäischen Eisenbahnsicherheitsrichtlinie beschriebenen Teilbereiche betrifft. Des Weiteren erfolgt eine ausführliche Betrachtung der CSM-Verordnung sowie aller weiteren offiziellen Dokumente, um die Anforderungen an ein solches zu konstruierendes Verfahren zur Signifikanzbewertung aufzuzeigen. Hierbei wird insbesondere dargestellt, dass für dieses Verfahren qualitative und risikobasierte Kriterien in der CSM-Verordnung beschrieben sind. Dieser Aspekt ist eine Besonderheit des CSM-Verfahrens, was anhand der Untersuchung von Verfahren zur Bewertung von Änderungen aus eisenbahnfremden Bereichen herausgearbeitet wird. Zudem wird dargestellt, dass sich wesentliche Teile des Verfahrens nicht allein aus der Betrachtung der offiziellen Dokumente heraus erklären lassen. Dies betrifft insbesondere die Definition der beiden für das Verfahren relevanten Begriffe „Signifikanz“ und „Änderung“. Auch besteht Unklarheit über das Zusammenwirken der einzelnen Kriterien und über ihre Gewichtung im Rahmen der Signifikanzbewertung. Für die Klärung dieser Aspekte werden die Ansätze und Verfahren untersucht, die zur Signifikanzbewertung von Änderungen im europäischen Eisenbahnwesen zum Einsatz kommen. Als Ergebnis dieser ausführlichen Untersuchung wird die Begründung dafür gegeben, warum das Verfahren der CSM-Verordnung über qualitative und risikobasierte Kriterien verfügen sollte und was diese Kriterien im Einzelnen bewerten. Darüber hinaus werden die wesentlichen Begriffe definiert und das Verfahren zur Signifikanzbewertung in den gesamten Prozess des harmonisierten Risikomanagementverfahrens eingeordnet. Des Weiteren wird gezeigt, dass sich die optimale Gewichtung der Kriterien anhand des statistischen Verfahrens der Diskriminanzanalyse bestimmen lässt. Anhand der Untersuchung von 33 vorliegenden Änderungen, deren Bewertung zudem auf Grundlage der Erkenntnisse dieser Arbeit auf ihre Plausibilität hin überprüft wurde, wird mit Hilfe der Diskriminanzanalyse ein Entscheidungskriterium beschrieben. Das ermittelte Entscheidungskriterium ist mit dem anschaulichen grafischen Vorgehen des DB-Verfahrens vereinbar, verfügt aber im Gegensatz zu diesem über eine wissenschaftliche Begründung und stellt die optimale Lösung für das vorliegende Problem dar. Das gesamte Vorgehen ist so beschrieben und offengelegt, dass eine Überprüfung der Ergebnisse durch Dritte sowie eine weitergehende Analyse von neuen Änderungen anhand der Diskriminanzanalyse ermöglicht wird.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Der Fortschritt des europäischen Zusammenwachsens in den letzten beiden Jahrzehnten hat unter anderem zum Entstehen gemeinsamer europäischer Institutionen geführt. Im Bereich des Eisenbahnwesens wurde die europäische Eisenbahnagentur (ERA) gegründet, die im Jahr 2006 ihre Arbeit vollständig aufgenommen hat. Das Hauptziel der ERA besteht laut der Agenturverordnung [EUP04²] darin, die Interoperabilität sowie die Sicherheit des europäischen Schienenverkehrs voranzutreiben. Dies geschieht vor dem Hintergrund von gewachsenen Strukturen mit unterschiedlichsten Vorschriften und Zielsetzungen im Eisenbahnverkehr der europäischen Mitgliedsländer. Daher kommt der Harmonisierung von Gesetzen und Vorschriften eine entscheidende Bedeutung zu.

Das europäische Parlament und der europäische Rat verabschiedeten am 29. April 2004 die Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit. Diese Richtlinie und weitere europäische Vorschriften für das Eisenbahnwesen sind vor dem Hintergrund bestehender nationaler Vorschriften zu sehen. Mit Hilfe der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie soll ein gemeinsamer Rahmen für die Regelung der Eisenbahnsicherheit geschaffen werden. Für dieses Ziel werden innerhalb der Richtlinie erforderliche Rahmenbedingungen definiert sowie explizit die Einführung mehrerer Verfahren gefordert. Ein zentraler Bestandteil dieser Richtlinie ist die Forderung nach der Einführung gemeinsamer Sicherheitsmethoden (CSM), anhand derer die Evaluierung und Bewertung von Risiken im Eisenbahnverkehr erfolgen soll. Der wesentliche Bestandteil dieser daraufhin im Jahr 2009 veröffentlichten CSM-Verordnung ist ein harmonisiertes Risikomanagementverfahren, welches im Falle signifikanter Änderungen zur Anwendung kommen muss. Hierfür ist dem Risikomanagementverfahren ein Prozess vorgeschaltet, der eine Entscheidung über die Signifikanz einer Änderung ermöglichen soll. Ein explizites Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen ist in dieser Form im Bereich des Eisenbahnwesens bisher nicht zum Einsatz gekommen und stellt somit eine Neuschaffung seitens des europäischen Gesetzgebers sowie der ERA dar.

Eine wissenschaftliche Untersuchung der Bewertung von Änderungen wird aus verschiedenen Gründen erforderlich. Obwohl das Verfahren zur Signifikanzbewertung durch die CSM-Verordnung beschrieben ist, besteht in vielen Punkten keine Klarheit über die korrekte Anwendung des Verfahrens. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass sich die Probleme mit diesem Verfahren zwei Bereichen zuordnen lassen. Dies betrifft einerseits das Verfahren selbst, das sich in zwei Teilbereiche gliedert. Zunächst ist die Sicherheitsrelevanz der Änderung zu untersuchen. Daraufhin hat eine Bewertung der Signifikanz der Änderung anhand der weiteren Kriterien zu erfolgen, wobei dieses Vorgehen nur für sicherheitsrelevante Änderungen erfolgen muss. Die Abgrenzung dieser beiden Teilbereiche wird dabei anhand der CSM-Verordnung nur unzureichend deutlich. Für besondere Schwierigkeiten sorgt im Weiteren die Anwendung der Kriterien, mit denen die Signifikanz bestimmt werden soll. Dies betrifft zum einen das Verständnis der Kriterien, mit denen eine Signifikanzbewertung der Änderung zu erfolgen hat. Zum anderen wird die finale Bewertung der Signifikanz durch die fehlende Gewichtung dieser Kriterien erschwert. Zusätzlich ist festzuhalten, dass durch unterschiedliche Quellen die Relevanz einiger Kriterien für die Signifikanzbewertung

grundsätzlich in Frage gestellt wird. Darüber hinaus lassen sich die weiteren Probleme darauf zurückführen, dass wesentliche Begriffe innerhalb des Verfahrens nicht ausreichend definiert sind. Das betrifft vor allem die Begriffe „Änderung“ und „Signifikanz“. Die Definition des Begriffs „Änderung“ ist vor allem für das Verständnis erforderlich, welche Änderungen mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung grundsätzlich betrachtet werden müssen. Der Begriff „Signifikanz“ ist hingegen in enger Verbindung mit dem Verständnis für den Zweck des gesamten Verfahrens zu sehen. Für diese beiden Aspekte ist eine klare Darstellung erforderlich, welchen Einfluss die Bewertung einer Änderung als signifikant beziehungsweise nicht signifikant auf das weitere Vorgehen besitzt. Die vorliegende Problematik hat dafür gesorgt, dass unterschiedliche Ansätze zum Verfahren der Signifikanzbewertung entstanden sind, die sich zum Teil deutlich in ihren Annahmen als auch in ihrem Vorgehen bei der Bewertung von Änderungen unterscheiden.

1.2 Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist vor dem erläuterten Hintergrund die Konstruktion eines Verfahrens zur Signifikanzbewertung von Änderungen, das mehreren Ansprüchen gerecht wird. Zunächst soll dieses Verfahren den formalen Anforderungen der CSM-Verordnung und somit den Ansprüchen des europäischen Gesetzgebers an ein solches Verfahren genügen. Hierfür soll in Kapitel 2 der relevante rechtliche Hintergrund für diese Arbeit dargestellt werden. Im Weiteren wird in Kapitel 3 ausführlich betrachtet, welche Anforderungen an das Verfahren aus der CSM-Verordnung abgeleitet werden können. Hierzu müssen alle veröffentlichten Dokumente der ERA in die Betrachtung miteinbezogen werden, die Erkenntnisse hinsichtlich des Verfahrens zulassen. Anhand dieses Vorgehens soll daraufhin dargestellt werden, welches Verständnis für das Verfahren sich aus diesen offiziellen Quellen ergibt. Für das weitere Vorgehen wird zudem herausgearbeitet, welche wesentlichen Aspekte des Verfahrens aus dieser Betrachtung heraus nicht zu klären sind und somit einer weiteren Untersuchung bedürfen.

Hierfür soll in Kapitel 4 die Betrachtung auf zwei weitere Bereiche ausgeweitet werden. Es werden zunächst in Abschnitt 4.1 Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen betrachtet, die zur Bewertung von Änderungen genutzt werden. Diese Betrachtung geschieht im Hinblick auf jene Aspekte, die ausgehend von den Erkenntnissen aus Kapitel 3 einer weiteren Untersuchung bedürfen. Unter derselben Zielsetzung werden in Abschnitt 4.2 die Verfahren und Ansätze zur Signifikanzbewertung von Änderungen betrachtet, die aus dem Bereich des Eisenbahnwesens selbst stammen und daher unmittelbar in Zusammenhang mit der CSM-Verordnung stehen. In Kapitel 5 werden daraufhin die Erkenntnisse der Betrachtungen des Kapitels 4 diskutiert und zusammengefasst. Dabei soll wiederum dargestellt werden, welche Aspekte hinsichtlich des Verfahrens zur Signifikanzbewertung anhand der neu gewonnenen Erkenntnisse geklärt werden konnten.

Für die nun weiterhin verbliebenen Fragen unter anderem hinsichtlich der Gewichtung der einzelnen Kriterien erfolgt in Kapitel 6 eine weitergehende Untersuchung, die auf die Analysemethoden der multivariaten Statistik zurückgreift. Hierfür wird zunächst eine Übersicht über die vorhandenen Verfahren für die vorliegende Problemstellung in diesem Bereich der Statistik gegeben, um daraus das adäquate Verfahren für das weitere Vorgehen zu

identifizieren. Im Weiteren sollen vorliegende Änderungen diskutiert und bewertet werden, um so eine fundierte Datenbasis für die Anwendung der identifizierten multivariaten Analysemethoden zu besitzen. Letztendlich erfolgt anhand dieses Vorgehens die Klärung der bisher noch bestehenden offenen Fragen, wie unter anderem die Gewichtung der Kriterien, so dass im Anschluss das gesamte Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen auf Grundlage der Untersuchungen dieser Arbeit beschrieben werden kann. Zusätzlich wird das gewählte Vorgehen auch anhand des freien Programms R in allgemeinverständlicher Form beschrieben, so dass eine Untersuchung von weiteren Änderungen sowie ein Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit durch Dritte vorgenommen werden kann.

2 Rechtlicher Hintergrund

Dieses Kapitel stellt den rechtlichen Hintergrund dar, der für das Verständnis des Verfahrens zur Signifikanzbewertung notwendig ist. Dies betrifft insbesondere die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie, die neben der CSM-Verordnung weitere Elemente wie die Sicherheitsmanagementsysteme (SMS) oder die Sicherheitsbescheinigungen definiert, auf die im Rahmen dieser Arbeit des Öfteren Bezug genommen wird. Neben den wesentlichen Teilen der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie soll innerhalb dieses Kapitels zudem eine Betrachtung der CENELEC-Normen erfolgen.

2.1 Die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie

Die vom europäischen Rat am 29. April 2004 verabschiedete Eisenbahnsicherheitsrichtlinie gliedert sich inhaltlich im Wesentlichen in vier Teile. Im Kapitel II werden die Entwicklung und das Management der Sicherheit erläutert. Bestandteil dieses Kapitels sind die gemeinsamen Sicherheitsindikatoren (CSI), die CSM, die gemeinsamen Sicherheitsziele (CST) sowie die nationalen Sicherheitsvorschriften. Darüber hinaus wird in Artikel 9 der Richtlinie auf die SMS eingegangen, die von den Fahrwegbetreibern und den Eisenbahnunternehmen zu unterhalten sind.

Das Kapitel III der Sicherheitsrichtlinie widmet sich der Sicherheitsbescheinigung sowie der Sicherheitsgenehmigung. Kapitel IV beschreibt die Anforderungen an die nationalen Sicherheitsbehörden der einzelnen Mitgliedsländer und die von diesen zu leistenden Aufgaben. In Kapitel V wird die Untersuchung von Unfällen und Störungen beschrieben und die Pflichten, die die Mitgliedsstaaten diesbezüglich besitzen. Tabelle 1 zeigt die Übersicht über die wesentlichen Elemente der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie und nennt die Richtlinien und Verordnungen, die in Bezug zu den aufgeführten Elementen stehen. Im Weiteren sollen nun diese Teilbereiche der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie kurz dargestellt werden. Das Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen stellt ein Element der CSM-Verordnung dar, welches in Artikel 6 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie beschrieben ist. Gleichzeitig besitzt dieses Verfahren zur Signifikanzbewertung auch einen direkten Bezug zu dem SMS, das in Artikel 9 dieser Richtlinie beschrieben ist. Bevor im Folgenden auf die wesentlichen Teile der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie eingegangen wird, soll zunächst erläutert werden, welche Institutionen direkt oder indirekt von der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie und der CSM-Verordnung betroffen sind.

Das Europäische Parlament sowie der Europäische Rat nehmen in diesem Zusammenhang die Rolle des europäischen Gesetzgebers ein, der unter anderem die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie und die CSM-Vorschriften verabschiedet hat. Daneben existiert die europäische Bahnbehörde ERA, deren Aufgabe in [EUP04²] ausführlich beschrieben ist und die auf Veranlassung des europäischen Gesetzgebers geschaffen wurde. Neben diesen offiziellen europäischen Institutionen existieren nationale Sicherheitsbehörden wie das deutsche Eisenbahnbundesamt (EBA), die unter anderem für die Erteilung der Sicherheitsbescheinigungen und Sicherheitsgenehmigungen nach Kapitel III der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie zuständig sind.

Wesentliche Teile der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie 2004/49/EG			
Kapitel II			
Entwicklung und Management der Sicherheit			
CSI	CSM	CST	SMS
Artikel 5	Artikel 6	Artikel 7	Artikel 9
Festlegung gemeinsamer Sicherheitsindikatoren, um die Verwirklichung der CST zu erleichtern.	Beschreibung gemeinsamer Sicherheitsmethoden, mit denen das Sicherheitsniveau, die Erreichung der CST und die Einhaltung weiterer Sicherheitsanforderungen bewertet werden.	Die gemeinsamen Sicherheitsziele legen konkrete Sicherheitsniveaus fest, die die einzelnen Bereiche sowie das Gesamtsystem des Eisensystems mindestens erreichen müssen.	Eine Sicherheitsmanagementsystem muss von jedem EBU und jedem EIU eingeführt werden. Das SMS soll sicherstellen, dass mindestens die CST, die nationalen Sicherheitsvorschriften sowie die TSI erreicht werden.
Anhang I der Sicherheitsrichtlinie & Richtlinie 2009/149/EG	Verordnung Nr. 352/2009 & Nr. 402/2013	Kommissionentscheidung 2009/460/EG	Anhang III der Sicherheitsrichtlinie & Verordnung Nr. 1158/2010 und Nr 1169/2010
Kapitel III		Kapitel IV	Kapitel V
Sicherheitsbescheinigungen		Sicherheitsbehörde	Untersuchung von Unfällen und Störungen
Sicherheitsbescheinigung	Sicherheitsgenehmigung		
Artikel 10	Artikel 11		
Jedes EVU benötigt für die Nutzung der Eisenbahninfrastruktur eine Sicherheitsbescheinigung. Das EBU weißt mit der Bescheinigung nach, dass es über ein SMS nach Artikel 9 verfügt sowie die TSI und alle für sie geltenden Rechtsvorschriften erfüllt. Die Sicherheitsbescheinigung erteilt die zuständige nationale Sicherheitsbehörde.	Jedes EIU benötigt für die Verwaltung und den Betrieb seiner Infrastruktur eine Sicherheitsgenehmigung von der zuständigen nationalen Sicherheitsbehörde.	Jeder Mitgliedsstaat hat eine nationale Sicherheitsbehörde einzurichten, die u.a. mit der Erteilung der Sicherheitsbescheinigungen und Sicherheitsgenehmigungen nach Artikel 10 und 11 der Sicherheitsrichtlinie sowie der Überwachung der Interoperabilitätsrichtlinien nach den Richtlinie 96/48/EG, 2001/16/EG und 2008/57/EG betraut ist.	Kapitel V der Sicherheitsrichtlinie legt fest, in welcher Form die einzelnen Mitgliedsstaaten nach schweren Unfällen im Eisenbahnwesen Untersuchungen durchführen sollen, um die Sicherheit im Eisenbahnwesen weiter zu verbessern und Unfälle zu vermeiden.
Eisenbahnsicherheitsverordnung (ESiV) vom 05.07.2007			Anlage V der Sicherheitsrichtlinie

Tabelle 1: Übersicht über die wesentlichen Teile der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie

Neben diesen Institutionen sind vor allem die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) direkt von der CSM-Verordnung sowie der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie betroffen. Als weitere große Gruppen sind in diesem Zusammenhang die Hersteller zu erwähnen, die unterschiedliche Produkte und Dienstleistungen für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen und Eisenbahnverkehrsunternehmen liefern und bereitstellen. Die Beschreibung der CSI, der CST sowie die Beschreibung der Sicherheitsbescheinigungen befindet sich in Anhang 8.1.

2.1.1 Bestimmungen zu Sicherheitsmanagementsystemen

Der Artikel 9 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie [EUP04] fordert die Einführung und Unterhaltung von Sicherheitsmanagementsystemen durch die Fahrwegbetreiber und Eisenbahnunternehmen. Das Ziel ist die „Kontrolle aller Risiken, die mit der Tätigkeit des Fahrwegbetreibers oder des Eisenbahnunternehmens einschließlich aller Instandhaltungsarbeiten sowie der Vergabe von Dienstleistungsaufträgen verbunden sind“. Damit kommt dem SMS, welches von den Unternehmen unterhalten werden muss, eine zentrale Rolle im Umgang mit den Risiken des Eisenbahnverkehrs zu. Darüber hinaus soll das SMS

gewährleisten, dass die Fahrwegbetreiber berücksichtigen, welche Folgen aus den betrieblichen Tätigkeiten unterschiedlicher EVUs entstehen. Hiermit soll sichergestellt werden, dass die EVUs, die für ihren Betrieb die Infrastruktur der Fahrwegbetreiber nutzen, in der Lage sind, diesen Betrieb „im Einklang mit den technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI), den nationalen Sicherheitsvorschriften und den Anforderungen ihrer Sicherheitsbescheinigung“ durchzuführen. Diese drei in Satz 3 genannten Teile werden in Anhang 8.1 näher erläutert.

In den Anforderungen an das SMS in Anhang III der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie ist festgehalten, dass „alle wichtigen Elemente des Sicherheitsmanagementsystems [...] dokumentiert werden“ müssen. Gleichzeitig wird gefordert, dass die Zuständigkeiten innerhalb der betreffenden Unternehmen im SMS beschrieben werden. Das Ziel ist eine „fortlaufende Verbesserung des Sicherheitsmanagementsystems“. In Ziffer 2 des Anhangs III sind die wesentlichen Bestandteile des SMS festgehalten. Dazu gehören unter anderem eine Sicherheitsordnung, „qualitative und quantitative Ziele zur Erhaltung und Verbesserung der Sicherheit“ und Vorkehrungen für einen ausreichenden Informationsfluss. In Ziffer d.) dieses Anhangs werden Verfahren und Methoden als Bestandteil des SMS gefordert, die eine Risikobewertung und Risikokontrolle von neuen Risiken für den Betrieb oder die Infrastruktur ermöglichen. Dies betrifft solche neuen Risiken, die sich aus „geänderten Betriebsbedingungen oder neuem Material [...] ergeben“. Dieser Teil des SMS stellt die direkte Verknüpfung zum CSM-Verfahren sowie zum Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen dar. Die Anforderungen, welche sich aus Ziffer d.) für das SMS ergeben, bestehen aus den drei Kriterien M1, M2 und M3. Diese Kriterien, die unter anderem in [SBB13] beschrieben sind, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Anforderungen resultierend aus Richtlinie 2004/49/EG Anhang III "Sicherheitsmanagementsysteme" Ziffer 2.d.)	
M1	„Es bestehen Managementverfahren für die Durchführung von Änderungen der Ausrüstung, Organisation, Personalausstattung oder der Schnittstellen.“
M2	„Es bestehen Verfahren für die Risikobewertung in Bezug auf die Änderungskontrolle und die Anwendung der gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Risikoevaluierung und -bewertung gemäß der Verordnung (EG) Nr. 352/2009 (3) der Kommission, falls erforderlich.“
M3	„Das Eisenbahnunternehmen verfügt über Verfahren, die sicherstellen, dass die Ergebnisse der Risikobewertung in andere Verfahren der Organisation einfließen und für das betroffene Personal erkennbar sind.“

Tabelle 2: Anforderungen an das SMS

Das Kriterium M1 betrifft die Verfahren zur Durchführung der Änderung und das Kriterium M2 die Verfahren zur Risikobewertung, die durch die CSM-Verordnung erforderlich sind. Das Kriterium M3 fordert Verfahren für den Umgang mit den Ergebnissen der Risikobewertung. Darüber hinaus muss das SMS über Verfahren verfügen, die ein Management sicherheitsrelevanter aber nicht signifikanter Änderungen leisten. Auf diesen Aspekt wird unter anderem in Kapitel 3 sowie in Kapitel 5 näher eingegangen. Die weiteren Teilbereiche, die einen Bezug zu dem SMS aufweisen, sind in Anhang 8.1 erläutert. Dazu zählen die nationalen Sicherheitsvorschriften, die TSI sowie die Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV). Darüber hinaus ist im Anhang auch die „CSM on Supervision“ sowie die „CSM on Monitoring“ beschrieben.

2.1.2 Die gemeinsamen Sicherheitsmethoden - CSM

Der Artikel 6 „Gemeinsame Sicherheitsmethoden“ der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie fordert, dass in den CSM beschrieben wird, „wie das Sicherheitsniveau, die Erreichung der Sicherheitsziele und die Einhaltung der anderen Sicherheitsanforderungen beurteilt werden“. Die CSM-Entwürfe, die die ERA erstellt, sollen dabei „auf einer Untersuchung der in den Mitgliedsstaaten bestehenden Methoden“ beruhen. Dabei sollen die CSM folgende drei Bereiche abdecken:

- Methoden für die Evaluierung und Bewertung von Risiken
- Methoden für die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Anforderungen der erteilten Sicherheitsbescheinigungen und Sicherheitsgenehmigungen
- Methoden zur Überprüfung, ob die strukturbezogenen Teilsysteme des konventionellen und des Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß den grundlegenden Anforderungen betrieben und instand gehalten werden

Gleichzeitig sollen die CSM nach [EUP04] in regelmäßigen Abständen überarbeitet werden. Als Grundlage für diese Überarbeitung sollen „die bei ihrer Anwendung gewonnenen Erfahrungen, die allgemeine Entwicklung der Eisenbahnsicherheit sowie die [...] niedergelegten Verpflichtungen der Mitgliedsstaaten“ berücksichtigt werden.

Die am 24. April 2009 verabschiedete Verordnung Nummer 352/2009 der europäischen Kommission beschreibt die von der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie nach Artikel 6 Absatz 3 a.) geforderten gemeinsamen Sicherheitsmethoden für die Evaluierung und Bewertung von Risiken. Ziel der CSM für die Bewertung und Evaluierung von Risiken ist es, das Sicherheitsniveau im Schienenverkehr in der Gemeinschaft aufrechtzuerhalten oder zu verbessern. Gleichzeitig sollen die Risikomanagementverfahren und die damit einhergehenden Teilbereiche harmonisiert werden, so dass der europaweite Zugang zum Markt für Schienenverkehrsdienste erleichtert wird. Zudem soll auch „der Austausch sicherheitsrelevanter Informationen [...] mit dem Ziel harmonisiert werden, ein Sicherheitsmanagement über die innerhalb des Sektors bestehenden verschiedenen Schnittstellen hinweg zu gewährleisten“. Darüber hinaus ist auch eine Harmonisierung solcher Ergebnisse anzustreben, die sich aus der Anwendung eines Risikomanagementverfahrens ergeben. Am 30. April 2013 hat die Europäische Kommission die Durchführungsverordnung Nummer 402/2013 verabschiedet, die die vorherige Verordnung Nummer 352/2009 mit der Wirkung vom 21. Mai 2015 aufhebt. In Abschnitt 4.3.2 wird auf die Gründe eingegangen, die zu dieser neuen Verordnung geführt haben und welche wesentlichen Änderungen sich aus der neuen Durchführungsverordnung ergeben. Diese Änderungen betreffen bis auf die in Abschnitt 4.3.2 erläuterten Änderungen innerhalb der Beschreibung der Kriterien ausdrücklich nicht die Kriterien des Verfahrens zur Signifikanzbewertung selbst.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Durchführungsverordnung Nummer 402/2013 als CSM-Verordnung bezeichnet. Die Verordnung Nummer 352/2009 wird diesbezüglich als ursprüngliche CSM-Verordnung bezeichnet. Die ursprüngliche CSM-Verordnung Nr. 352/2009 ist zum 19. Juli 2010 für signifikante Änderungen in Kraft getreten, die Fahrzeuge oder strukturelle Teilsysteme betreffen. Seit dem 1. Juli 2012 gilt die Verordnung auch für

alle signifikanten Änderungen, die technischer, betrieblicher oder organisatorischer Natur sind. Bevor im Folgenden auf die wesentlichen Teile des Risikomanagementprozesses eingegangen wird, werden zunächst die relevanten Inhalte der CSM-Verordnung erläutert, sofern diese nicht in Kapitel 3 betrachtet werden.

In Artikel 2 der CSM-Verordnung [EUK13] wird festgelegt, dass diese Verordnung auch für strukturelle Teilsysteme gilt falls entweder „die relevanten [...] TSI eine Risikobewertung verlangen“ oder falls die Änderung als signifikant eingestuft wird und aus diesem Grund eine Anwendung des Risikomanagementverfahrens auf das strukturelle Teilsystem erfolgt, „damit im Einklang mit Artikel 15 Absatz 1 der Richtlinie 2008/57/EG ihre sichere Integration in ein bestehendes System gewährleistet werden kann“. Die Anwendung des Risikomanagementprozesses für diesen Fall darf aber „nicht dazu führen, dass Anforderungen gestellt werden, die den verbindlichen Anforderungen der TSI widersprechen“.

Der Begriff des Vorschlagenden, der verantwortlich für die Signifikanzbewertung und für die Durchführung des Risikomanagementverfahrens ist, wird im Artikel 3 „Begriffsbestimmungen“ näher erläutert. Ein Vorschlagender ist demnach entweder ein EVU oder ein EIU, welches Maßnahmen nach Artikel 4 „Entwicklung und Verbesserung der Eisenbahnsicherheit“ der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie durchführt. Ein Vorschlagender kann demzufolge auch eine für Instandhaltung zuständige Stelle sowie ein Auftraggeber oder Hersteller, „der gemäß Artikel 18 Absatz 1 der Richtlinie 2008/57/EG bei einer benannten Stelle das EG-Prüfverfahren durchführen lässt [...]“.

2.1.3 Die wesentlichen Teile des harmonisierten Risikomanagementverfahrens

In den folgenden Abschnitten sollen nun die wesentlichen Teile des Risikomanagementverfahrens erläutert werden. Dabei erfolgt die ausführliche Betrachtung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung von Änderungen in Kapitel 3. Das harmonisierte Risikomanagementverfahren ist darüber hinaus in der Anlage des Anhangs 1 der CSM-Verordnung in grafischer Form dargestellt.

2.1.3.1 Vorläufige Systemdefinition und Verfahren zur Bewertung von Änderungen

Die vorläufige Systemdefinition soll eine Grundlage herstellen, auf der entschieden werden kann, ob eine geplante Änderung signifikant ist oder nicht. Dies bedeutet, dass eindeutig beschrieben werden muss, was geändert wird und mit welchem Zweck. Hierzu müssen die Punkte aus der umfassenden Systemdefinition betrachtet werden, die für eine Bewertung der Signifikanz notwendig sind. Des Weiteren wird in der CSM-Verordnung [EUK13] in Artikel 4 beschrieben, wie signifikante Änderungen zu bewerten sind. Dieses Verfahren zur Bewertung von Änderungen wird ausführlich in Kapitel 3 betrachtet.

2.1.3.2 Systemdefinition

Kommt der Vorschlagende im Rahmen des im vorherigen Kapitel beschriebenen Verfahrens zu der Einschätzung, dass die geplante Änderung signifikant ist, muss für die ausführliche Risikobetrachtung nach dem CSM-Verfahren zunächst eine ausführliche Systemdefinition erfolgen. Hierbei kann auf die vorläufige Systemdefinition zurückgegriffen werden, da sie

bereits grundlegende Beschreibungen des Systems enthält. Nach den CSM-Vorschriften muss die Systemdefinition folgende Aspekte beantworten:

- Was ist der Zweck des Systems?
- Aus welchen Funktionen und Bestandteilen ist das System zusammengesetzt?
- In welcher Umgebung und unter welchen Einflüssen kommt das System zum Einsatz?
- Welche physischen und funktionalen Schnittstellen existieren?

Die ermittelte Definition des Systems ist keinesfalls endgültig, sondern erfährt im Laufe des Risikomanagementprozesses auf Grundlage der ermittelten Sicherheitsanforderungen eine laufende Anpassung.

2.1.3.3 Gefährdungsermittlung

Im Prozess der Gefährdungsermittlung, der auf die Systemdefinition aufbaut und dem Bereich der Risikoanalyse zugeordnet ist, werden durch ein qualifiziertes Team alle nach vernünftigem Ermessen vorhersehbaren Gefährdungen für das betreffende System sowie dessen Funktionen und Schnittstellen systematisch ermittelt. Danach erfolgt die Einstufung der ermittelten Gefährdungen anhand ihres Risikos. Dabei müssen alle Gefährdungen, die anhand eines Sachverständigenurteils als weitgehend akzeptabel eingeschätzt wurden, nicht weiter betrachtet, sondern lediglich erwähnt werden. Gefährdungen können dann als weitgehend akzeptabel eingestuft werden, wenn entweder das Eintreten der Gefährdung als höchst unwahrscheinlich oder die Auswirkungen des Eintretens als unerheblich eingestuft werden. Hierdurch kann eine Fokussierung auf die wichtigeren Gefährdungen geschehen. Auf die Diskussion bezüglich der Definition des weitgehend akzeptablen Risikos wird in Abschnitt 4.3.2 weiter eingegangen.

2.1.3.4 Risikoanalyse und -evaluierung

Die ermittelten Gefährdungen können anhand der Zugrundelegung von einem oder mehreren der folgenden Risikoakzeptanzgrundsätzen evaluiert werden, falls durch nationale Vorschriften nicht ein bestimmtes Verfahren vorgeschrieben wird:

- Anwendung von Regelwerken
- Vergleich mit ähnlichen Systemen
- Explizite Risikoabschätzung

Ziel dieses Vorgehens ist es, sinnvolle Sicherheitsanforderungen zu finden, die eine Kontrolle dieser Risiken ermöglichen, welche aus den ermittelten Gefährdungen entspringen. Dieser Prozess wird so lange fortgesetzt, bis gezeigt werden kann, dass das umfassende Systemrisiko durch eines oder mehrere Risikoakzeptanzgrundsätze kontrolliert ist. Bei der Anwendung von Regelwerken oder bei dem Vergleich mit ähnlichen Systemen muss zudem noch gezeigt werden, dass alle identifizierten Gefährdungen abgedeckt sind.

2.2 Risikoanalysen im Eisenbahnwesen

Neben der Betrachtung der CSM-Verordnung und ihres harmonisierten Risikomanagementverfahrens ist es für das grundlegende Verständnis erforderlich, den Hintergrund zu Risikoanalysen im Eisenbahnwesen darzustellen. Zum einen beruhen die Sicherheitsnachweise eines Großteils der Systeme auf diesen Verfahren. Zum anderen kann die Anwendung einer der CENELEC-Normen je nach Einschätzung der Sicherheitsrelevanz sowie der Signifikanz der betrachteten Änderung notwendig sein (vgl. Kapitel 3).

Die Einführung der EN 50126 zur funktionalen Sicherheit im Jahr 1999 hat dazu geführt, dass Risikoanalysen im Bereich der Signaltechnik des Eisenbahnwesens ihre Anwendung fanden. Zuvor wurde die Sicherheit für die Signaltechnik der DB AG mit Hilfe der Mü8004 definiert. Im Gegensatz zu den CENELEC-Normen wurde Sicherheit hier nicht risikobasiert, sondern regelorientiert definiert. Dieser regelorientierte Ansatz betrachtete jede Komponente einer Sicherheitsanlage auf die Gefährdungen hin, die durch ein mögliches technisches Versagen von ihr ausgehen können. Daneben wurden gesondert Komponenten betrachtet, von denen eine Sicherheitsverantwortung ausgeht. Für solche Komponenten wurden besondere qualitative Vorschriften festgelegt, deren Einhaltung im späteren Sicherheitsnachweis darzustellen war. Darüber hinaus existierten teilweise auch qualitative Vorschriften, die zuvor definierten Anforderungsklassen zugeordnet wurden. Komponenten konnten im Weiteren diesen zuvor definierten Anforderungsklassen zugeordnet werden und galten in dem Fall als sicher, falls nachgewiesen werden konnte, dass sie alle qualitativen Vorschriften dieser definierten Anforderungsklasse erfüllten. Dieser Ansatz gelangte jedoch laut [BRA06] aufgrund des schnell voranschreitenden technischen Fortschritts sowie des erforderlichen Zeitaufwands für die Beratung in den Fachgremien an seine Grenzen.

Die EN 50126 stellt die Hauptnorm der CENELEC-Normen dar und legt die wesentlichen Grundlagen eines Systems und jeder Komponente hinsichtlich der RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) fest. Ergänzt wird diese Norm durch die beiden Normen EN 50128 und EN 50129. Die EN 50129 beschreibt umfangreich, in welcher Weise Maßnahmen zu treffen und Dokumentationen erforderlich sind, um einen Sicherheitsnachweis zu erstellen. Gleichzeitig werden durch diese Norm Gefährdungsraten eingeführt, die für das jeweilige System tolerabel sind. Diese Gefährdungsraten werden darüber hinaus in der EN 50129 zur Definition von Sicherheitsintegritätslevels genutzt. Das Dokument [CEN03] enthält in Anhang A hierzu eine Erläuterung der SIL (Sicherheitsintegritätslevel) sowie eine Zuordnung der SIL zu tolerierbaren Gefährdungsraten. Die für das System geltende tolerierbare Gefährdungsrate sowie der erforderliche SIL hängen dabei von den möglichen Gefährdungen ab, die aus einem Systemausfall resultieren können. Die tolerierbaren Gefährdungsraten kommen hierbei für quantifizierbare Ausfälle und Störungen zum Einsatz, wohingegen der SIL für die qualitative Einstufung von systematischen Fehlern eingesetzt wird, welche schwer quantifizierbar sind. Damit dienen laut [BRA06] die tolerierbaren Gefährdungsraten als ein Maß für die Häufigkeit, mit der eine Gefährdung auftreten darf. Der SIL hingegen drückt für das betrachtete System aus, welcher Aufwand für fehlervermeidende Maßnahmen zu treffen ist.

Der für den Vergleich mit der CSM-Verordnung relevante Teil der EN 50126 befindet sich in Abschnitt 5 „Management of railway RAMS“ und in Abschnitt 6 „RAMS Lifecycle“. In den genannten Abschnitten werden die einzelnen Phasen des RAMS-Lebenszyklus beschrieben und mit Hilfe eines V-Modells zueinander in Bezug gebracht. Darüber hinaus ist die Zulassung einer großen Zahl von technischen Systemen anhand dieser Normen EN 50126 sowie die EN 50128 und EN 50129 vorgenommen worden. Dies wirft die Frage der Vergleichbarkeit dieser Normenreihe und der CSM-Verordnung auf sowie auch, ob und inwiefern bei Neuentwicklungen mit dem Nachweis der funktionalen Sicherheit des Systems anhand der EN 50126 auch die CSM-Verordnung eingehalten ist. Für diesen Zweck ist in dem Guidance Dokument [ERA08] zur CSM-Verordnung der ERA eine Gegenüberstellung der CSM-Verordnung und der EN 50126 enthalten. Gleichzeitig wurde im Rahmen des Projekts zur „Neuen Generation der Signaltechnik“ (NeGSt) der Bericht [TÜV13²] veröffentlicht, der sich eingehend mit dem Aspekt befasst, unter welchen Voraussetzungen eine Anwendung der CENELEC-Normen eine Erfüllung der Anforderungen der CSM-Vorschriften bedeuten kann.

2.2.1 Das V-Modell der EN 50126 und seine Phasen

Das V-Modell beschreibt den Lebenszyklus eines Systems angefangen in der Entwicklungsphase mit dem Konzept und der Systemdefinition über die Risikoanalyse und der späteren Herstellung und Installation bis zum Betrieb und der Überwachung dieses Betriebs. In Abbildung 1 im folgenden Abschnitt 2.2.2 ist dieses V-Modell der EN 50126 dargestellt. Gleichzeitig erfolgt in dieser Abbildung ein Vergleich der Phasen des V-Modells der EN 50126 mit den Phasen der CSM-Verordnung. Für die Darstellung des Lebenszyklus wurde das Diagramm in Form des Buchstaben V gewählt, um zu verdeutlichen, dass die Phasen der Entwicklung hin zur eigentlichen Fertigung einem Top-Down-Ansatz und die Phasen von der Fertigung bis zum Betrieb einem Bottom-Up-Ansatz folgen. Bei dem Übergang von einer Phase zur nächsten ist jeweils eine Verifizierung erforderlich, ob die Inputs von der vorangegangenen Phase den Anforderungen der aktuellen Phase entsprechen. Darüber hinaus muss abschließend validiert werden, ob das entstandene System tatsächlich den in Phase 4 ermittelten Systemanforderungen entspricht. Dieses Modell eines Lebenszyklus gibt aus Sicht der CENELEC die erforderliche Struktur vor, um die Aspekte des RAMS und zugleich die wirtschaftlichen Anforderungen wie Kosten und Entwicklungszeit zu berücksichtigen. Damit geht dieser Ansatz im Gegensatz zum CSM-Verfahren über das ausschließliche Management von Risiken hinaus.

2.2.2 Vergleich der EN 50126 mit dem CSM-Risikomanagementprozess

Das in der EN 50126 beschriebene Verfahren erwähnt als möglichen Risikoakzeptanzgrundsatz zunächst nur die explizite Risikoabschätzung, wobei dagegen das CSM-Verfahren dem Anwender die Wahl zwischen den drei in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Risikoakzeptanzgrundsätzen lässt. Zusätzlich enthält die EN 50126 mit dem GAMAB (Globalement au moins aussi bon) einen Risikoakzeptanzgrundsatz, welcher laut [TÜV13²] dem „Vergleich mit Referenzsystemen“ aus der CSM-Verordnung ähnelt.

Vergleicht man nun die Phasen des V-Modells mit denen des CSM-Verfahrens, ergibt sich das in Tabelle 3 dargestellte Ergebnis. Es ist zu erkennen, dass die Phasen beider Verfahren

sich gut einander zu ordnen lassen. Auch lassen sich die Phasen 1 bis 10 der EN 50126 mit dem Ablauf des CSM-Risikomanagementprozess vergleichen. Dies gilt im Besonderen für die Phasen 1 bis 5, die ihre Entsprechung in den folgenden vier Phasen „vorläufige Systemdefinition“, „Systemdefinition“, „Risikoanalyseprozess“ sowie „Sicherheitsanforderungen“ des CSM-Risikomanagementprozesses finden. Eine besondere Rolle nimmt hierbei hingegen die Signifikanzprüfung des CSM-Verfahrens ein, das sich der Phase 13 „Umrüstung und Nachrüstung“ zuordnen lässt und damit die einzige Phase darstellt, die nicht zur numerischen Ordnung der Phasen der EN 50126 passt. Jedoch stellt diese Phase 13 im strengen Sinn keinen Teil des Lebenszyklus, sondern vielmehr die Verbindung zur Wiederverwendung des RAMS-Lebenszyklus bei Änderungen und Umbauten dar. Damit nimmt diese Phase wie die Signifikanzprüfung von Änderungen einen gesonderten Platz außerhalb des eigentlichen Prozesses ein. Weiterhin fällt auf, dass der Nachweis der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen der CSM durch fünf Phasen der CENELEC-Norm abgedeckt ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die CENELEC-Norm dem Ansatz des Produktlebenszyklus folgt und somit diese Phasen deutlich detaillierter darstellt.

Die Phasen 11 bis 14 der EN 50126 lassen sich abgesehen von der Phase 13 „Umrüstung und Nachrüstung“, die zum Teil durch die Signifikanzprüfung abgedeckt ist, nicht dem eigentlichen Risikomanagementprozess der CSM zuordnen. Vielmehr werden diese Phasen durch das SMS und die „CSM on Monitoring“ abgedeckt, die beide in Anhang 8.1.7 eingehend beschrieben sind.

Phase der CSM	Phase der EN 50126
Vorläufige Systemdefinition	Konzept (1)
Signifikanzprüfung einer Änderung	<i>Umrüstung und Nachrüstung (13)</i>
Systemdefinition	Systemdefinitionen & Anwendungsbedingung (2)
Risikoanalyseprozess	Risikoanalyse (3)
Sicherheitsanforderungen	Anforderungen an das System (4)
	Zuteilung der Sicherheitsanforderungen (5)
Nachweis der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen	Entwicklung/Konstruktion und Implementierung (6)
	Fertigung (7)
	Installation/Montage (8)
	Validierung des Systems (9)
	Abnahme des Systems (10)
SMS & CSM on Monitoring	Betrieb und Instandhaltung (11)
	Kontrolle der Leistungsfähigkeit (12)
s.o. Signifikanzprüfung & durch Aufgaben des SMS abgebildet	Umrüstung und Nachrüstung (13)
<i>kein Gegenstück im CSM, aber nach Signifikanzprüfung ggf. Neuanwendung des CSM</i>	Stilllegung und Entsorgung (14)

Tabelle 3: Vergleich der Phasen CSM-Risikomanagementprozess mit EN 50126

Ein besonderes Augenmerk soll bei diesem Vergleich auf die Signifikanzprüfung des CSM-Verfahrens und die entsprechende Phase 13 „Umrüstung und Nachrüstung“ des CENELEC-Verfahrens gelegt werden. In der EN 50126 ist bezüglich der Anforderungen an diese Phase festgehalten, dass zunächst ein Sicherheitsplan zu existieren hat. Weiterhin muss ein Prozess vorhanden sein, der Änderungen und Umbauten am System überwacht. Dieser soll mithilfe eines Verfahrens die Einflüsse auf die RAMS-Kriterien überwachen. Zudem soll dieser Prozess die Anforderung stellen, dass die Gründe für die Änderung betrachtet werden.

Gleichzeitig soll nach [CEN99] die Umsetzung der Änderung geplant, die Änderungen dokumentiert und die von der Änderung betroffene Systemdokumentation aktualisiert werden. Ein festgelegtes Verfahren für die Bewertung und den Umgang mit Änderungen existiert in der EN 50126 nicht. Anhand der Beschreibung dieser Phase 13 wird deutlich, dass sie Teile umfasst, die in der CSM durch die Signifikanzprüfung einerseits und durch das SMS andererseits abgedeckt sind. Das SMS fordert hierbei das Vorhandensein eines Sicherheitsplans, die Überprüfung der Änderungsumsetzung sowie die Änderung der betroffenen Systemdokumentation und die Unterrichtung der Mitarbeiter (vgl. Tabelle 2).

Die Phase 14 „Stilllegung und Entsorgung“ stellt einen Sonderfall dar, da sie kein Gegenstück im CSM besitzt. Die Aufnahme dieser Phase in die EN 50126 ist der Tatsache geschuldet, dass es in der Regel den letzten Schritt eines Produktlebenszyklus darstellt. Aufgrund des anderen Ansatzes der CSM fällt diese Phase dort nicht mehr in den Betrachtungsrahmen. Gleichwohl ergibt sich aus der Beschreibung dieser Phase, dass Einflüsse auf benachbarte Systeme durch die Stilllegung und den Rückbau auszuschließen sind. Sollte hierbei eine signifikante Änderung bestehender Systeme nicht ausgeschlossen werden, ist gegebenenfalls eine Neuanwendung des CSM-Prozesses erforderlich. Dies bedeutet, dass die Phase 14 durch das CSM zwar nicht explizit betrachtet wird, durch die Überprüfung der Signifikanz der Änderung aber zumindest teilweise abgedeckt ist. Durch die erfüllten Anforderungen dieser Phase 14 bei einer erfolgten Anwendung des CENELEC-Verfahrens sind damit in jedem Fall alle Anforderungen des CSM-Verfahrens, die diesen Bereich betreffen, erfüllt.

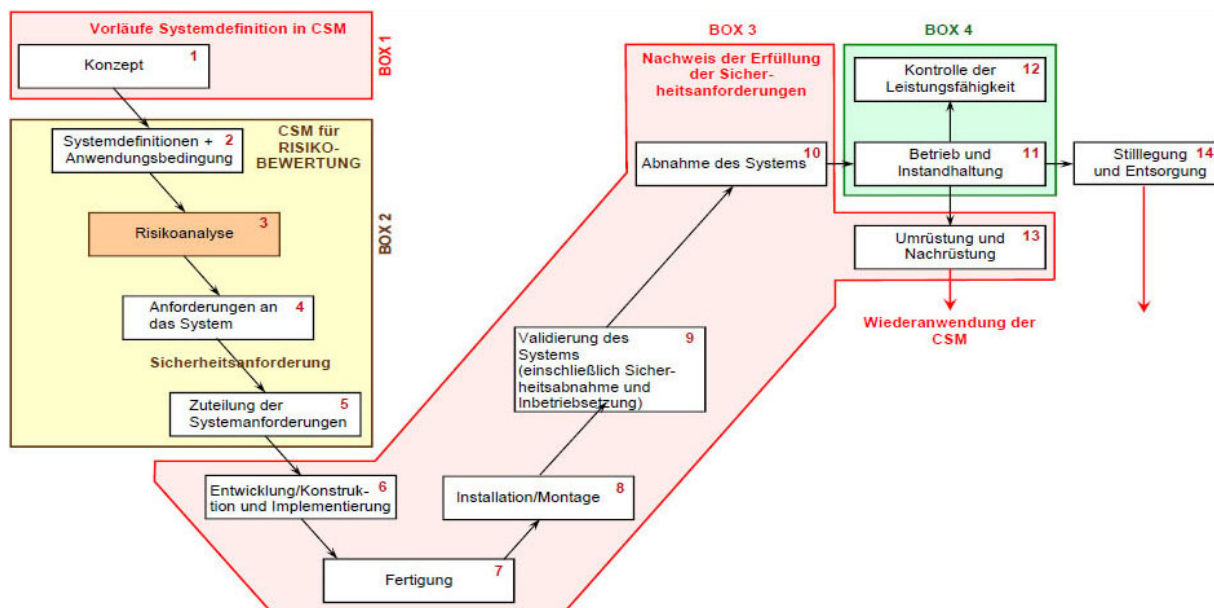


Abbildung 1: Vergleich Phasen der CSM und der EN 50126. Siehe [ERA08]

Die Abbildung 1 stellt die Zuordnung zwischen den Phasen der EN 50126 mit denen der CSM dar, welche sich an der Darstellung des V-Modells orientiert. Dieser Vergleich ist Bestandteil des Dokumentes [ERA08], welches Beispiele zur Risikobewertung untersucht, die für die CSM-Vorschriften von Nutzen sein können. Die Ergebnisse der ERA stimmen in weiten Teilen mit den Aussagen dieses Kapitels überein. Wesentliche Unterschiede sind nur bei Phase 13 und 14 zu erkennen. Die Phase 13 wird von der ERA ausschließlich dem Nachweis der Übereinstimmung mit den Sicherheitsanforderungen zugeordnet und es findet

sich kein Hinweis auf die Signifikanzprüfung des CSM-Verfahrens sowie die Verbindung mit dem SMS. Für die Phase 14 wird nicht erwähnt, dass eine Signifikanzprüfung unter Umständen eine Neuanwendung der CSM erforderlich machen kann.

Darüber hinaus enthält die CSM-Verordnung die Begriffe des „Vorschlagenden“ sowie der „unabhängigen Bewertungsstelle“, die in dieser Form in den CENELEC-Normen nicht existieren. Der Begriff „Vorschlagender“ besitzt eine direkte Verbindung zu dem Begriff der „Änderung“ sowie zu der Signifikanzbewertung, die wie erläutert in den CENELEC-Normen nicht existiert. Hinsichtlich der unabhängigen Bewertungsstelle enthalten die CENELEC-Normen Anforderungen an den Gutachter, was dessen Kompetenz und Unabhängigkeit betrifft. Gegebenenfalls sind für die Erfüllung der CSM-Verordnung somit laut [TÜV13²] weitergehende Anforderungen der CSM-Verordnung zu beachten.

2.3 Bewertung des rechtlichen Hintergrunds mit Hinblick auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung

In diesem Kapitel wurde ausführlich dargestellt, vor welchem rechtlichen Hintergrund das Verfahren zur Signifikanzbewertung zu sehen ist. Im Hinblick auf die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie konnte dargestellt werden, dass zum Zweck der Harmonisierung der europäischen Richtlinien für die Sicherheit im Eisenbahnwesen eine Vielzahl von Vorschriften und Verordnungen entstanden ist. Das Kernstück für das Management von Risiken stellen dabei die CSM-Verordnung sowie das SMS und die Erteilung von Sicherheitsgenehmigungen sowie Sicherheitsbescheinigungen dar. Das Zusammenspiel dieser Teile wurde in Kapitel 2.1.1 dargestellt. Darüber hinaus konnten in Abschnitt 2.2 die Gemeinsamkeiten zwischen dem Risikomanagementprozess der CSM-Verordnung und der CENELEC-Norm EN 50126 herausgestellt werden.

In der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie wird darauf hingewiesen, dass die CSM auf Verfahren aufbauen sollen, die in den einzelnen Mitgliedsländern bereits Anwendung finden. Der Vergleich des CSM-Risikomanagementprozesses mit der EN 50126 hat gezeigt, dass diese Anlehnung an bestehende Vorschriften zum Teil auch schon geschehen ist. Für die Signifikanzbewertung von Änderungen gilt dies hingegen nicht. Das in den CSM-Vorschriften beschriebene Verfahren besitzt weder ein vergleichbares Verfahren in den CENELEC-Normen noch in Vorschriften anderer europäischer Mitgliedsländer. In der TEIV existiert der Begriff der umfangreichen Änderung. Die Entscheidung, ob eine solche umfangreiche Änderung vorliegt, wird zum einen anhand der Projekt- und Baukosten getroffen und zum anderen anhand von Kriterien, die sich danach richten, in welchem Teilsystem die Änderungen vorgenommen werden. Ein solches Verfahren, welches konkrete Umbaumaßnahmen aufzählt, die für eine umfangreiche Änderung sprechen, wurde für die Signifikanzbewertung nach CSM nicht aufgegriffen. Die Betrachtung innerhalb dieses Kapitels hat zudem gezeigt, dass das Verfahren zur Signifikanzbewertung ausgehend von seiner Relevanz in den geltenden Vorschriften einen geringen Stellenwert einnimmt. Im Gegensatz zu Begriffen wie „Vorschlagender“ oder „Risikomanagement“ sind die Begriffe „Signifikanz“, „Änderung“ oder „signifikante Änderung“ nicht Bestandteil der Begriffsbestimmungen der CSM-Vorschrift.

3 Signifikanzbewertung von Änderungen

Dieses Kapitel stellt alle relevanten Dokumente und Informationen von offizieller europäischer Seite dar, die im Zusammenhang mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen veröffentlicht wurden. Die Grundlage bildet die vom europäischen Gesetzgeber veröffentlichte CSM-Verordnung und die darin enthaltenden Informationen bezüglich des Verfahrens zur Signifikanzbewertung von Änderungen. Das in der CSM-Verordnung beschriebene Verfahren wird in Abschnitt 3.1 erläutert. Alle weiteren Veröffentlichungen sind im Kontext zu dem dort beschriebenen Verfahren zu sehen. Des Weiteren hat die ERA im Zeitraum des Erscheinens der ursprünglichen CSM-Verordnung im Jahr 2009 Veröffentlichungen zum Verfahren der Signifikanzbewertung getätigt, die die Anwendung des Verfahrens erläutern und darüber hinaus Beispiele für diese Anwendung enthalten. Diese Veröffentlichungen der ERA werden in Abschnitt 3.2 dargestellt. Zusätzlich soll in diesem Abschnitt eine Betrachtung der Beispiele erfolgen. In Abschnitt 3.3 werden daraufhin die Ergebnisse dieser Betrachtungen hinsichtlich des Verfahrens zur Signifikanzbewertung aufgezeigt.

Auf ausführliche Interpretationen des Inhalts der hier betrachteten Quellen wird innerhalb dieses Kapitels verzichtet. Es sollen ausschließlich die Informationen und Erkenntnisse dargestellt werden, die anhand der Quellen von offizieller europäischer Seite für das Verständnis des Verfahrens zur Signifikanzbewertung vorliegen oder sich unmittelbar daraus ergeben. Dieses Vorgehen ist deswegen sinnvoll, da innerhalb des Abschnitts 4.2 solche Verfahren und Ansätze beschrieben werden, die ihrerseits auf der Interpretation der Inhalte der Quellen beruhen, die innerhalb dieses Kapitels 3 erläutert werden. Die Durchführung ausführlicher eigener Überlegungen soll vor diesem Hintergrund im Anschluss an die Betrachtungen des Kapitels 4 erfolgen, nachdem alle relevanten Informationen sowie die bereits existierenden Überlegungen und Ansätze betrachtet und somit der gesamte Themenstand dargestellt wurde.

3.1 Verfahren der CSM-Verordnung

In der CSM-Verordnung 2009 der europäischen Kommission ist das Verfahren zur Bewertung von Änderungen beschrieben. Dieses Verfahren wird innerhalb dieser Arbeit als Verfahren zur Signifikanzbewertung bezeichnet. Betrachtet werden sollen mit diesem Verfahren nach Artikel 2 Satz 1 von [EUK13] solche Änderungen, die technischer oder betrieblicher Natur sind. Gleichzeitig sollen organisationale Änderungen hinsichtlich ihrer Signifikanz bewertet werden, wenn hierdurch Betriebs- oder Instandhaltungsprozesse beeinflusst werden können.

Zunächst müssen durch den Vorschlagenden die potentiellen Auswirkungen auf die Sicherheit geprüft werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird dies als Prüfung der Sicherheitsrelevanz bezeichnet. Ergibt diese Prüfung der Sicherheitsrelevanz, dass die Änderung keine Auswirkungen auf die Sicherheit besitzt, gilt die Änderung als nicht sicherheitsrelevant und es kann von einer Anwendung des Risikomanagementverfahrens abgesehen werden. Bestehen hingegen Auswirkungen auf die Sicherheit, muss die Signifikanz der Änderung anhand einer vorläufigen Systemdefinition geprüft werden. Diese Prüfung soll anhand der folgenden

Kriterien vorgenommen werden, die in Artikel 4 der CSM-Verordnung erwähnt sind und im Rahmen dieser Arbeit als Signifikanzkriterien bezeichnet werden:

- a.) Folgen von Ausfällen: „Szenario des ungünstigsten anzunehmenden Falls („credible worst-case scenario“) bei einem Ausfall des zu bewertenden Systems unter Berücksichtigung etwaiger außerhalb des zu bewertenden Systems bestehender Sicherheitsvorkehrungen;“
- b.) innovative Elemente bei der Einführung der Änderung; „dabei geht es nicht nur darum, ob es sich um eine Innovation für den Eisenbahnsektor als Ganzes handelt, sondern auch darum, ob es sich aus Sicht der Organisation, die die Änderung einführt, um eine Innovation handelt;“
- c.) Komplexität der Änderung;
- d.) Überwachung: „Unmöglichkeit, die eingeführte Änderung über den gesamten Lebenszyklus des Systems hinweg zu überwachen und in geeigneter Weise einzugreifen;“
- e.) Umkehrbarkeit: „Unmöglichkeit, zu dem vor der Einführung der Änderung bestehenden System zurückzukehren;“
- f.) Additive Wirkung: „Bewertung der Signifikanz der Änderung unter Berücksichtigung aller sicherheitsrelevanten Änderungen des zu bewertenden Systems, die in jüngster Zeit vorgenommen und nicht als signifikant beurteilt wurden.“

Wird die anhand dieser Kriterien bewertete Änderung als signifikant eingestuft, muss das harmonisierte Risikomanagementverfahren angewendet werden, welches in Anhang I der CSM-Verordnung ausführlich beschrieben ist. Gleichzeitig kann in besonderen Fällen ein Eingreifen der nationalen Aufsichtsbehörden erforderlich werden. Dies betrifft vor allem die neue Erteilung von Inbetriebnahmegenehmigungen für Fahrzeuge sowie die Überprüfung von Sicherheitsbescheinigungen sowie Sicherheitsgenehmigungen (siehe Anhang 8.1.6).

Eine Einstufung der Änderung als nicht signifikant hat zur Folge, dass keine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erfolgen muss. In diesem Fall genügt es aus Sicht der CSM-Verordnung, „zweckdienliche Unterlagen zur Begründung der Entscheidung aufzubewahren“. Dies bedeutet jedoch ausdrücklich nicht, dass keine Anwendung eines Risikomanagementverfahrens erfolgen muss. Auf diesen Aspekt wird ausführlich in Kapitel 5 eingegangen. Die Abbildung 2 stellt das hier beschriebene Verfahren in einem Diagramm dar. Aus den Erläuterungen wird zusätzlich deutlich, dass für die Signifikanzprüfung ein geringerer Aufwand als für das harmonisierte Risikomanagementverfahren erforderlich sein sollte. Andernfalls könnte für jede Änderung direkt eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erfolgen.

Bei der Betrachtung des zitierten Inhalts der CSM-Verordnung fällt auf, dass sich die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie die sechs Kriterien drei Bereichen zuordnen lassen. Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie das Kriterium „Folge von Ausfällen“ betrachten Aspekte der Änderung, die sich einer Risikobetrachtung zuordnen lassen. Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz soll für die Einschätzung genutzt werden, welche potentiellen Auswirkungen die betreffende Änderung auf die Sicherheit besitzt. Sicherheit wird in diesem

Zusammenhang als das Nichtvorhandensein unvertretbarer Schadensrisiken verstanden. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ soll den ungünstigsten anzunehmenden Fall für den Ausfall des zu bewertenden Systems beurteilen. Somit betrachtet dieses Kriterium ein mögliches Schadensausmaß. Aus dieser Erwägung heraus wird deutlich, dass eine zusätzliche Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz und des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ erforderlich ist, die sich aus der CSM-Verordnung allein jedoch nicht ergibt.

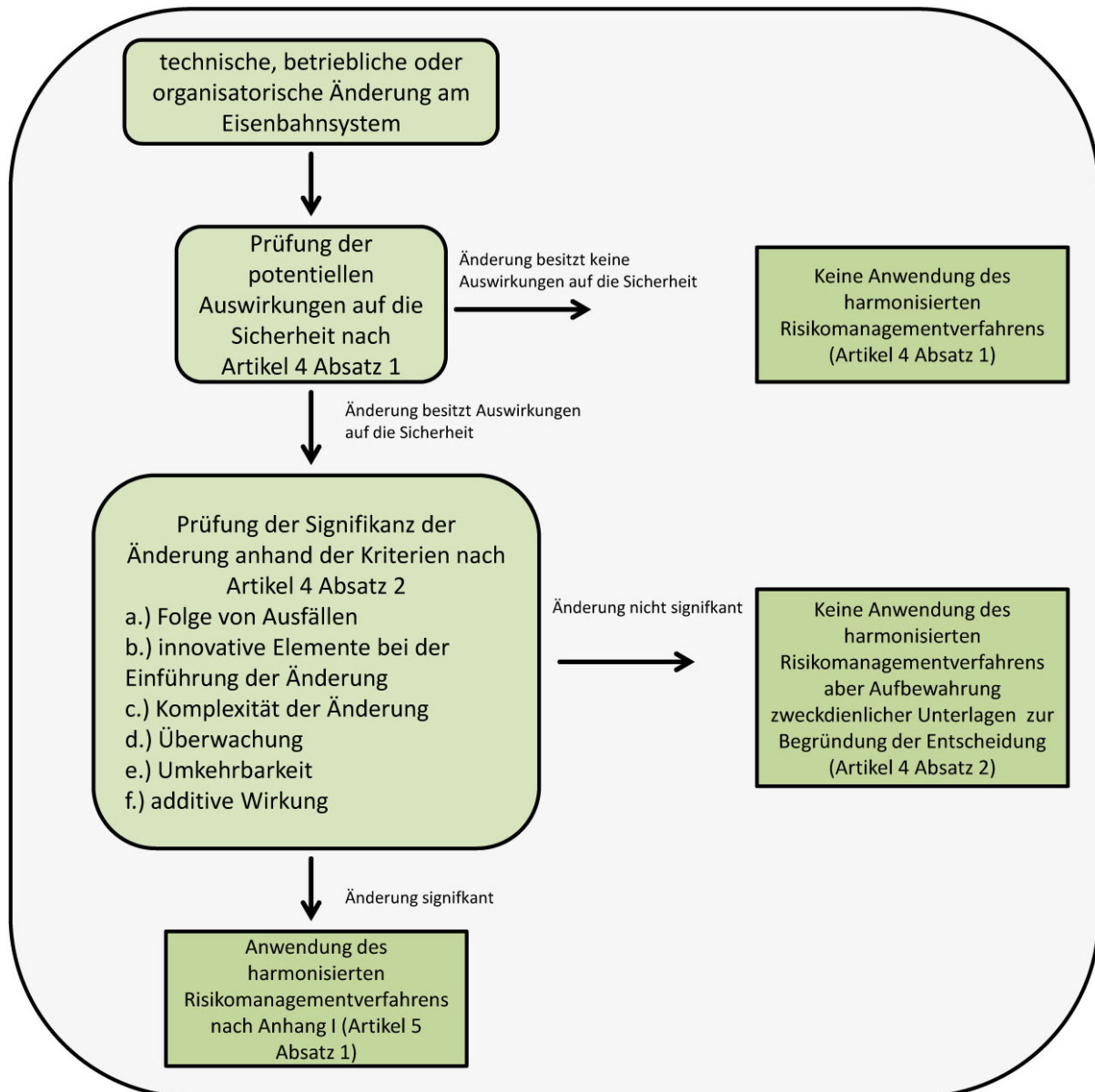


Abbildung 2: Signifikanzbewertung gemäß CSM-Verordnung

Die vier Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ stellen hingegen qualitative Kriterien dar. Aus der Erläuterung dieser Kriterien wird deutlich, dass die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ vor allem Eigenschaften der Änderungen selbst betrachten. Im Unterschied dazu betrachten die beiden weiteren qualitativen Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ hauptsächlich Eigenschaften im Umgang mit dieser Änderung.

Das Kriterium „Additive Wirkung“ ist isoliert von den risikobasierten und den qualitativen Kriterien zu sehen. Hierbei handelt es sich um kein Kriterium, sondern um eine Vorschrift, auf welcher Grundlage die Bewertung einer Änderung zu erfolgen hat. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 3.2.1 näher erläutert. Darüber hinaus ist aus der Beschreibung der Kriterien zu erkennen, dass keine Gewichtung der Kriterien vorliegt oder in den betreffenden Vorschriften beschrieben ist. Allenfalls kann eine implizite Gewichtung durch die gewählte Reihenfolge bei der Nennung der Kriterien unterstellt werden, die aber keine Erwähnung in den Vorschriften findet. Somit sind alle Kriterien aus Sicht der CSM-Verordnung als gleichberechtigt zu betrachten.

Die CSM-Verordnung enthält darüber hinaus keine Definition der Begriffe „Änderung“, „Signifikanz“ oder „signifikante Änderung“, so dass eine signifikante Änderung ausschließlich eine Einschätzung des Vorschlagenden nach der Anwendung der Kriterien, aber keinen feststehenden und definierten Begriff darstellt. Vor diesem Hintergrund ist auch die fehlende Gewichtung der Kriterien zu sehen. Für den Anwender dieses Verfahrens ist somit weder eine eindeutige Vorgabe vorhanden, was der europäische Gesetzgeber unter einer signifikanten Änderung versteht, noch welche Ausprägung der Kriterien in jedem Fall für eine signifikante Änderung spricht. Somit kann ausschließlich angenommen werden, dass eine Änderung dann signifikant ist, falls alle Kriterien für eine signifikante Änderung sprechen. Gleichzeitig kann auch angenommen werden, dass eine Änderung zweifelsfrei nicht signifikant ist, falls alle Kriterien für eine nicht signifikante Änderung sprechen. Für alle Änderungen, die sich zwischen diesen beiden Fällen bewegen, lassen sich anhand der CSM-Verordnung keine eindeutigen Aussagen treffen. Somit beschreibt diese Verordnung ausschließlich die Randbedingungen für ein Verfahren, mit dem signifikante Änderungen bewertet werden sollen.

Es ist als Ergebnis dieses Abschnitts somit festzuhalten, dass der europäische Gesetzgeber durch die Veröffentlichung und den Inhalt dieser CSM-Verordnung den Willen geäußert hat, dass ein harmonisiertes Risikomanagementverfahren bei signifikanten Änderungen anzuwenden ist. Für die Signifikanzbewertung gibt die Verordnung ausschließlich das in Abbildung 2 dargestellte Vorgehen vor. Die CSM-Verordnung enthält darüber hinaus keine Definition der Begriffe „Änderung“ sowie „Signifikanz“. Auch ist innerhalb der Verordnung keine Gewichtung der Kriterien beschrieben. In diesem Zusammenhang werden zudem keine weiteren Hinweise für die Anwendung des Verfahrens gegeben, aus der zusätzlich die Rolle der Kriterien innerhalb der Signifikanzbewertung ersichtlich werden könnte. Darüber hinaus enthält die Verordnung ausschließlich eine knappe Erläuterung der Kriterien, die nur ein eingeschränktes Verständnis liefert und einer weiteren Abgrenzung bedarf. Somit kommt der Betrachtung der vorhandenen Dokumente, die die ERA für die Erläuterung der CSM-Verordnung veröffentlicht hat, eine besondere Bedeutung zu. Diese Betrachtung soll im folgenden Abschnitt 3.2 erfolgen.

3.2 Veröffentlichungen der ERA zur CSM-Verordnung

Im vorangegangenen Abschnitt wurde das Verfahren zur Signifikanzbewertung anhand der relevanten Vorschriften der CSM-Verordnung erläutert. In diesem Abschnitt sollen nun die Dokumente und deren Inhalte erläutert werden, die die ERA zu diesem Verfahren veröffentlicht hat. Hierbei muss zwischen drei Gruppen von Inhalten unterschieden werden.

Die erste Gruppe von Inhalten betrifft Dokumente, die vor dem Erscheinen der CSM-Verordnung im April 2009 veröffentlicht wurden und den Entwicklungsprozess darstellen, den die CSM-Verordnung und das Verfahren zur Signifikanzbewertung bis zu ihrer Veröffentlichung genommen hat. Im Weiteren sollen Inhalte erläutert werden, die von der ERA nach dem Erscheinen der CSM-Verordnung veröffentlicht wurden. Diese Inhalte sind seitens der ERA vor allem für die Erläuterung der CSM-Verordnung und seiner Teile veröffentlicht worden. Zusätzlich existieren Dokumente, die zwar vor der Veröffentlichung der CSM-Verordnung seitens der ERA veröffentlicht wurden, aber sich bereits auf die endgültige Version dieser Verordnung beziehen. Dies betrifft Dokumente, die in den ersten Monaten des Jahres 2009 erschienen sind. Die hier erläuterten Dokumente sollen in Abschnitt 3.2.1 in der Reihenfolge ihres Erscheinens betrachtet werden. In Abschnitt 3.2.2 werden darüber hinaus die Beispiele erläutert, die die Anwendung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung zeigen und in den betreffenden Dokumenten des Abschnitts 3.2.1 enthalten sind. Die Erkenntnisse aus der Betrachtung dieser Beispiele sollen in Abschnitt 3.2.2.6 dargestellt werden. Dieser Abschnitt verfolgt das Ziel, Erkenntnisse bezüglich der Aspekte zu sammeln, die nach der Betrachtung der CSM-Verordnung in Abschnitt 3.1 weiterer Klärung bedürfen.

3.2.1 Vorliegende Dokumente der ERA zur CSM-Verordnung

Die Veröffentlichung, die in den Zeitraum vor dem Erscheinen der CSM-Verordnung fällt und den Entwicklungsprozess des Verfahrens zur Signifikanzbewertung verdeutlicht, ist das Dokument [ERA08²]. Aus der Betrachtung dieses Dokuments wird deutlich, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung bereits eine Entwicklung der Kriterien erfolgt war. Innerhalb des Dokuments wird nun erläutert, warum eine Änderung dieser Kriterien sinnvoll ist. Das zunächst vorhandene Kriterium „Sicherheitsbeitrag“ („safety contribution“), welches den positiven Einfluss auf die Sicherheit der Änderung beurteilt, wird durch die Prüfung der Sicherheitsrelevanz ersetzt. Die ERA gibt die Begründung, dass auf diese Weise allein die Prüfung der Sicherheitsrelevanz den Einfluss der Änderung auf die Sicherheit betrachtet. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ soll in diesem Zusammenhang nun ausschließlich die Wahrscheinlichkeit dafür beurteilen, ob sicherheitsrelevante Ausfälle des betrachteten Systems durch andere Sicherheitsmaßnahmen außerhalb des Systems abgeschwächt werden können. Auf diese Weise kann nach Ansicht der ERA nun dieses Kriterium wie die anderen vier Kriterien „Komplexität“, „Innovation“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für die Bewertung des abschwächenden Einflusses genutzt werden, der dafür sorgt, dass eine sicherheitsrelevante Änderung ohne Anwendung der CSM sicher gehandhabt werden kann und daher nicht signifikant ist. Außerdem wurde für das Kriterium „Innovation“ der Hinweis entfernt, dass dieses Kriterium die Innovation für die Organisation betrachtet.

Vergleicht man die in [ERA08²] erläuterten Kriterien, fällt zunächst auf, dass das Kriterium „Additive Wirkung“ hier noch nicht enthalten ist. Zudem ist hier auch die Sicherheitsrelevanz noch als Kriterium aufgeführt und nicht wie in Abschnitt 3.1 und [EUK09] beschrieben getrennt von den anderen Kriterien aufgeführt. Darüber hinaus fehlt in der Beschreibung des Kriteriums „Innovation“ noch die Erläuterung, über die sie in [EUK09] verfügt. Außerdem sind die beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ positiv formuliert. In der veröffentlichten CSM-Verordnung hingegen wird statt der Möglichkeit von der

Unmöglichkeit innerhalb der Kriterien gesprochen. Die positive Formulierung erfüllt jedoch deutlich besser den in [EK08²] erläuterten Zweck der Kriterien. Dieser Zweck der Kriterien besteht in der Betrachtung des gegebenenfalls vorhandenen abschwächenden Einflusses, der auf sicherheitsrelevante Änderungen bestehen könnte. Des Weiteren wird beschrieben, dass der Übergang von der ersten zu der zweiten Version der Kriterien innerhalb dieses Dokuments zusätzlich eine Änderung hinsichtlich der Antwortmöglichkeiten ergibt. Für die ersten Kriterien hätten die Antworten die binäre Form ja/nein gehabt. In [EUK08²] hingegen wird empfohlen, qualitative Antworten mit den drei Kategorien gering, mittel und hoch für die Bewertung der einzelnen Kriterien zu nutzen.

Mit der Veröffentlichung der Dokumente [ERA09] und [ERA09²] Anfang des Jahres 2009 liegen erstmals Erläuterungen seitens der ERA vor, die sich auf die CSM-Verordnung in ihrer endgültigen Form beziehen, auch wenn zu diesem Zeitpunkt die Verordnung noch nicht offiziell erschienen ist. [ERA09] erläutert dabei die wesentlichen Teile dieser CSM-Verordnung. Für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wird diesbezüglich ausgeführt, dass es für die Prüfung der sicherheitsrelevanten Ausfallfolgen einer Änderung des Systems genutzt werden kann. Gleichzeitig kann anhand dieses Kriteriums berücksichtigt werden, inwieweit solche sicherheitsrelevanten Fehler durch existierende Sicherheitsmaßnahmen abgeschwächt werden können, die außerhalb des betrachteten Systems bestehen. In Kombination mit den anderen Kriterien soll das Kriterium „Folge von Ausfällen“ laut [ERA09] für die Bewertung genutzt werden, ob eine sicherheitsrelevante Änderung ohne Anwendung der CSM sicher gehandhabt werden kann. Hierbei ist hervorzuheben, dass sich in der Entwicklung der Dokumente von [ERA08²] zu [ERA09] die Sichtweise der ERA geändert hat, auf was sich dieses Kriterium „Folge von Ausfällen“ bezieht. So wird in [ERA08²] in diesem Zusammenhang noch von sicherheitsrelevanten Ausfällen des betrachteten Systems als Grundlage der Betrachtung gesprochen. In [ERA09] hingegen wird im Unterschied dazu von sicherheitsrelevanten Ausfällen der Änderung für das System gesprochen. Eine Änderung der Erläuterung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ hat sich hierbei beim Übergang von [ERA08²] zu [ERA09] nicht ergeben. Zusätzlich wird auf eine Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz und des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ nicht eingegangen.

Gleichzeitig ist festzuhalten, dass aus der Erläuterung, was durch das Kriterium „Folge von Ausfällen“ und den weiteren Kriterien beurteilt werden soll, hervorgeht, dass die ERA die Signifikanzbewertung vor allem aus einer risikobasierten Sichtweise betrachtet. Dabei ist anhand der betrachteten Dokumente der ERA nicht abschließend zu klären, ob ein Ausfall des geänderten Systems oder ein Ausfall der Änderung des Systems zu beurteilen ist. Auf die Rolle der qualitativen Kriterien innerhalb dieser Bewertung wird in diesem Zusammenhang nicht eingegangen.

Im Weiteren wird beschrieben, dass der Vorschlagende selbst entscheiden muss, welche Wichtigkeit er den einzelnen Kriterien zukommen lässt. Auch soll der Vorschlagende alle Kriterien betrachten. Er kann jedoch seine finale Entscheidung hinsichtlich der Signifikanz der Änderung laut [ERA09] auch ausschließlich an einem einzelnen Kriterium festmachen. In [ERA09] wird darüber hinaus das nun enthaltene Kriterium „Additive Wirkung“ erläutert. Es ist zu erkennen, dass dieses Kriterium sich von den weiteren fünf Kriterien unterscheidet. Es stellt kein Kriterium dar, mit dem eine Änderung bewertet wird. Vielmehr beschreibt die „Additive Wirkung“, dass die Summe aller sicherheitsrelevanten, aber nicht signifikanten

Änderungen an dem betrachteten System die Grundlage für die Anwendung der weiteren Kriterien darstellen soll. Ein weiterer Aspekt dieser Handlungsvorschrift „Additive Wirkung“ stellt die Fragestellung dar, wie mit Änderungen umgegangen werden soll, die in die Zeit des Inkrafttretens der CSM-Verordnung fallen. Die unterschiedlichen Aspekte zu dieser Fragestellung illustriert die Abbildung 3. In Abschnitt 2.1.2 ist das Inkrafttreten der CSM-Verordnung in Abhängigkeit von der Art der Änderung beschrieben.

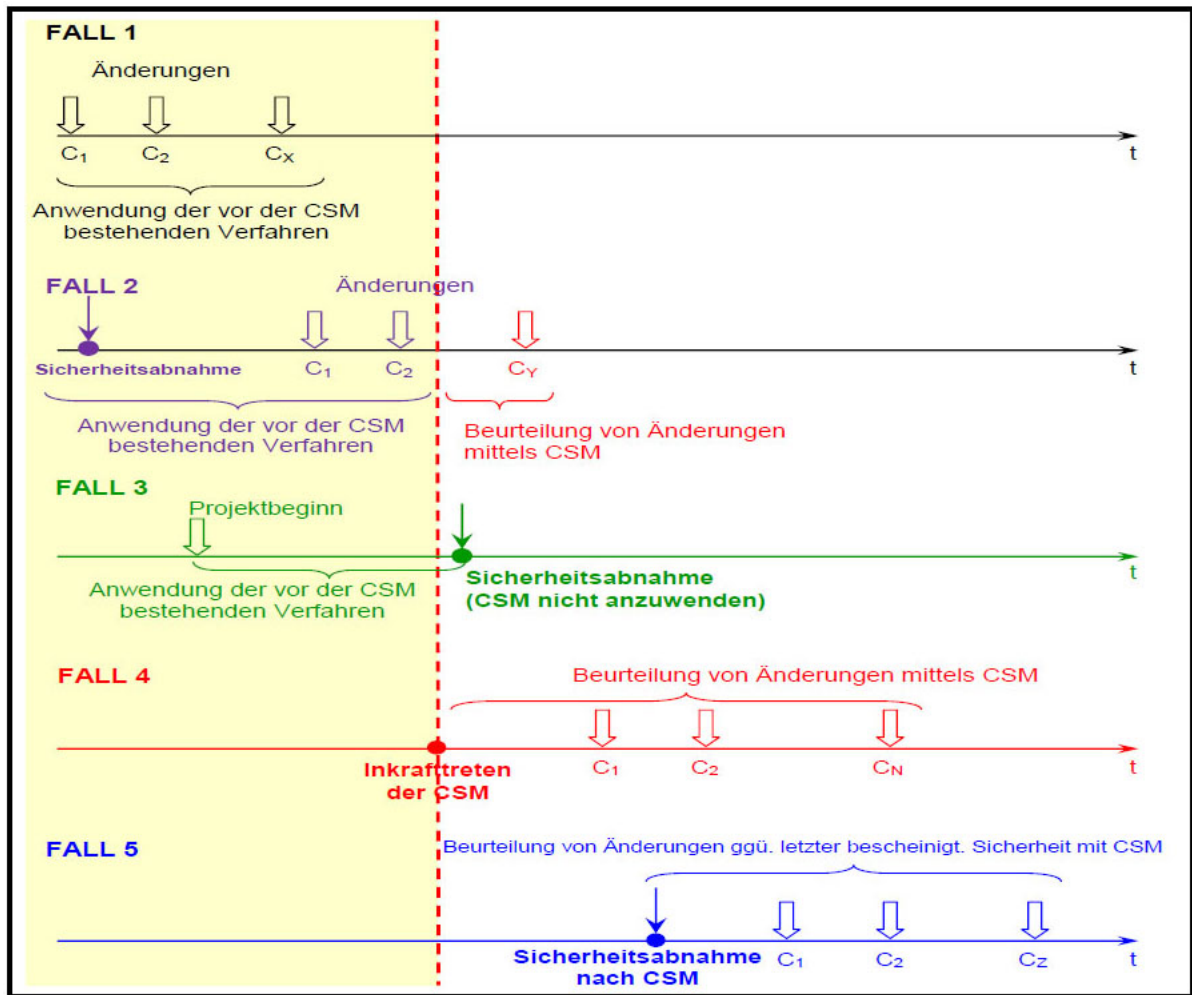


Abbildung 3: Umgang mit Änderungen in Abhängigkeit von ihrer Einführung. Siehe [ERA09]

Fallbeispiel 2 zeigt, dass ein System vor der Einführung der CSM-Vorschriften zugelassen worden ist und seitdem drei Änderungen an diesem System vorgenommen wurden. Eine dieser drei Änderungen fiel dabei in den Zeitraum nach dem Erscheinen der CSM-Vorschriften. Die wesentliche Aussage hierzu ist, dass ausschließlich diese letzte Änderung betrachtet werden muss. Diese Erläuterung ist erforderlich, weil die Handlungsvorschrift „Additive Wirkung“ fordert, alle sicherheitsrelevanten Änderungen mit in die Betrachtung einzubeziehen, die als nicht signifikant eingestuft worden sind. Somit müssen nach dieser Handlungsvorschrift alle sicherheitsrelevanten, aber nicht signifikanten Änderungen mit in die Betrachtung einbezogen werden, die seit dem Inkrafttreten der CSM-Vorschrift vorgenommen wurden. Falls das Inkrafttreten der CSM-Vorschriften weiter zurückliegt als die letzte Risikobewertung anhand des CSM-Prozesses, müssen diejenigen Änderungen mit

betrachtet werden, die seit dieser Risikobewertung durchgeführt und als sicherheitsrelevant, aber nicht signifikant eingestuft worden sind (vgl. Abbildung 3, Fall 4 und 5).

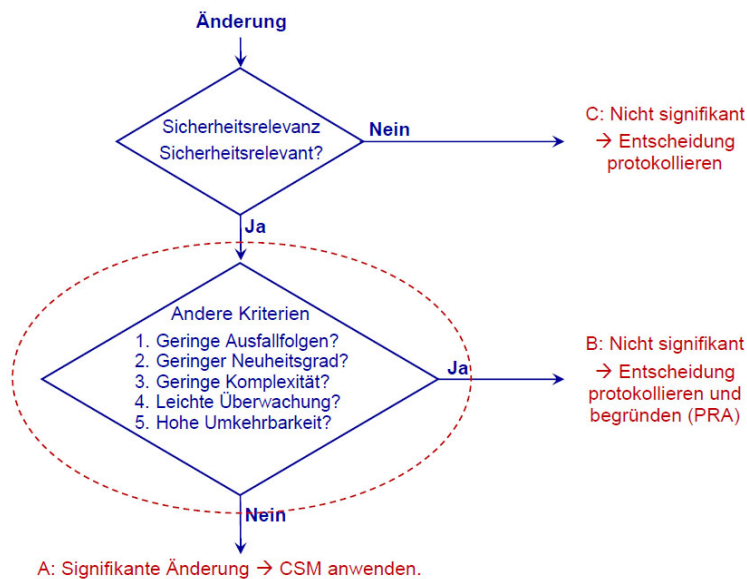


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung. Siehe [ERA09]

Neben diesen Erläuterungen und Informationen enthält [ERA09] auch eine schematische Darstellung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung, welches ebenso wie die Abbildung 2 in Abschnitt 3.1 aus den relevanten Vorschriften der CSM-Verordnung abgeleitet ist. Die Abbildung 4 zeigt diese Darstellung, die die Sicht der ERA auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung darstellt. In den Kernaussagen stimmen diese Abbildung sowie die Abbildung 2 überein. Jedoch ist in der Abbildung 4 das Kriterium „Additive Wirkung“ nicht mehr unter den Kriterien aufgeführt. Dies spiegelt die zuvor dargestellte Auffassung der ERA bezüglich dieses Kriteriums wieder. Darüber hinaus erfolgt in dieser Darstellung die Bewertung der Kriterien anhand einer binären Einschätzung (ja/ nein). Die Einschätzung „ja“ deutet dabei nach Aussage dieser Darstellung auf eine nicht signifikante Änderung hin, die Einschätzung „nein“ deutet hingegen auf eine signifikante Änderung. Damit stellt der Inhalt dieser Darstellung eine Abkehr von den drei qualitativen Kategorien „gering“, „mittel“ sowie „hoch“ dar, die in [ERA08²] beschrieben wurden. Darüber hinaus wird weiterhin keine Gewichtung der Kriterien erläutert. Auch ist in [ERA09] keine weitere Erläuterung zu dieser schematischen Darstellung enthalten.

In [ERA09²] wird in Teilen auf das gewählte Vorgehen hinsichtlich des Entstehens des Verfahrens zur Signifikanzbewertung eingegangen. Hierbei wird gezeigt, dass durch die ERA sowie durch Experten solche Beispiele untersucht wurden, die Grenzfälle zwischen signifikanten und nicht signifikanten Änderungen darstellen. Bei diesem Vorgehen wurde festgestellt, dass es nicht möglich ist, gemeinsame Abgrenzungen oder Regeln hinsichtlich der Signifikanz einer Änderung zu liefern. Zudem sei es nach diesen Erfahrungen nicht möglich, eine vollständige Liste von signifikanten Änderungen aufzustellen, an der man sich bei der Bewertung orientieren kann. Zudem ist es nach Aussage von [ERA09²] nicht möglich, dass Entscheidungen hinsichtlich der Signifikanz für alle Vorschlagenden Gültigkeit besitzen. Auch kann eine solche Gültigkeit nicht unabhängig von den unterschiedlichen technischen,

betrieblichen und organisatorischen Bedingungen sowie den weiteren äußeren Einflüssen sein. In diesem Dokument wird zusätzlich darauf eingegangen, was bei einer sicherheitsrelevanten, aber nicht signifikanten Änderung zu unternehmen ist. Es wird darauf hingewiesen, dass eine nicht signifikante Änderung nicht bedeutet, dass nichts unternommen werden muss. Es wird auf den notwendigen Inhalt verwiesen, der nach Artikel 2 Absatz 2 a.) der CSM-Verordnung für eine solche Entscheidung aufzubewahren ist. Laut dieses Dokuments unternimmt der Vorschlagende eine Form von vorläufiger Risikoanalyse, die zusammen mit den Begründungen für diese Entscheidung aufzubewahren ist.

Nach der Veröffentlichung der CSM-Verordnung im April 2009 wurden von der ERA acht Workshops sowie ein abschließendes Seminar abgehalten. Ziel dieser Workshops war, die wesentlichen Teile der CSM-Verordnung für betroffene Gruppen aus dem Bereich des Eisenbahnwesens zu erläutern. Von mehreren Mitgliedern dieser CSM-Arbeitsgruppen wurde geäußert, dass weitere Unterstützung hinsichtlich der CSM-Verordnung und deren Umsetzung erforderlich ist. In diesem Dokument [ERA09³] wird auf die beiden bereits betrachteten Dokumente [ERA09] und [ERA09²] sowie die CSM-Verordnung [EUK09] hingewiesen, die die Grundlage für das Verständnis der CSM-Verordnung bilden. Zudem wird beschrieben, welches weitere Vorgehen bezüglich der Einführung der CSM-Verordnung gewählt werden soll und welche Rolle dabei die angesprochenen Workshops spielen. Das Vorgehen sollte der ERA dabei helfen zu sehen, in welcher Form die Teile der CSM-Verordnung in den einzelnen Mitgliedsländern verstanden werden und welche Schwierigkeiten bestehen. Im zweiten Schritt sollte dann eine Analyse der Erfahrungen geschehen, die bei der Anwendung der CSM-Verordnung auf in der Praxis vorgenommene Änderungen gemacht wurden. Letztendlich sollte laut [ERA09³] aus der Analyse der Erfahrungen und Schwierigkeiten ein Bericht entstehen, der im Jahr 2011 veröffentlicht werden sollte.

Das Dokument [EUR09] ist eine Präsentation der ERA, die die Grundlage für den ersten der erläuterten Workshops im Juni 2009 war. Damit enthält diese Präsentation das Verständnis der ERA auf die zu diesem Zeitpunkt bereits veröffentlichte CSM-Verordnung. In dieser Präsentation wird dargestellt, dass die CSM für alle Änderungen anzuwenden sind, die als signifikant eingestuft werden. Hierbei wird der Bezug zu der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie genannt, in der in Anhang 3 Folgendes hinsichtlich der wesentlichen Bestandteile des Sicherheitsmanagementsystems gefordert wird:

„d.) Verfahren und Methoden für die Durchführung von Risikobewertungen und die Anwendung von Maßnahmen zur Risikokontrolle für den Fall, dass sich aus geänderten Betriebsbedingungen oder neuem Material neue Risiken für die Infrastruktur oder den Betrieb ergeben;“

Aus dieser Erläuterung wird deutlich, welchen Ursprung das Verfahren zur Signifikanzbewertung in der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie besitzt und dass das Verfahren dem SMS zuzuordnen ist. Auf mögliche weitere Schlüsse für das Verfahren zur Signifikanzbewertung aus dem Inhalt dieser zitierten Textstelle wird in [EUR09] nicht eingegangen. Diese Stelle hat darüber hinaus Eingang in die Präambel der CSM-Verordnung gefunden. Eine solche Präambel ist jedoch ausschließlich zur Erläuterung gedacht und besitzt laut [BRA13] keinerlei rechtliche Bedeutung. Darüber hinaus findet sich keine Begründung dafür, inwiefern diese Textstelle exakt dieses Verfahren zur Signifikanzbewertung

erforderlich macht, das in der CSM-Verordnung beschrieben ist. Es wird zudem nicht darauf eingegangen, ob eine Verbindung des Begriffs „Signifikanz“ zu der zitierten Textstelle besteht. Auch findet sich weder in dieser Präsentation noch in den weiteren in diesem Abschnitt erläuterten Dokumenten ein Verweis auf einen möglichen Ursprung des Verfahrens und seiner Teile. Der Begriff „Signifikanz“ sowie das Verfahren und seine Kriterien sind somit eine Neuschaffung der ERA, für die aus der Betrachtung der Dokumente keinerlei erkennbare Begründung hervorgeht.

Zusätzlich wird in [EUR09] nochmals darauf verwiesen, dass das Verfahren zur Signifikanzbewertung ein Bestandteil des SMS ist und dass auch für sicherheitsrelevante, aber nicht signifikante Änderungen die Entscheidungen dargelegt und begründet werden müssen und das SMS hierfür über einen eigenen Prozess verfügen kann. In Abschnitt 3.1 wurde dargestellt, dass anhand der Inhalte der CSM-Verordnung keine eindeutigen Aussagen zu treffen sind, was als eine signifikante Änderung zu verstehen ist. Die Erläuterung der ERA-Dokumente in diesem Abschnitt hat diesbezüglich keine zusätzlichen Erkenntnisse gebracht. Die ERA ist jedoch der Ansicht, dass eine Signifikanzentscheidung auch ausschließlich auf einem einzigen Kriterium beruhen kann. Gleichzeitig vertritt sie in [EUR09] die Auffassung, dass eine Bewertung hinsichtlich der Signifikanz für unterschiedliche Vorschlagende nicht zum selben Ergebnis führen muss, weil sie gegebenenfalls unterschiedliche Erfahrung mit der Umsetzung der Änderung besitzen. Ungeachtet der letzten Aussage sollte eine Bewertung der Signifikanz nicht deshalb bei zwei Vorschlagenden zu einem unterschiedlichen Ergebnis führen, weil beide ein unterschiedliches Verständnis für das Verfahren, seine Kriterien sowie deren Gewichtung besitzen. Zumindest die grundlegende Auffassung über diese Punkte sollte bei allen Anwendern der CSM-Verordnung identisch sein. Die Schaffung eines solchen gemeinsamen grundlegenden Verständnisses für das Verfahren zur Signifikanzbewertung sollte eine zwingende Voraussetzung sein, zumal wenn vor diesem Hintergrund der Zweck der CSM-Verordnung betrachtet wird. Die Präambel Nummer (7) der CSM-Verordnung [EUK13] enthält folgenden Text:

„Das Fehlen einer einheitlichen Vorgehensweise zur Festlegung und zum Nachweis der Einhaltung der Sicherheitsniveaus und der Anforderungen des Eisenbahnsystems hat sich als ein Hindernis erwiesen, dass einer Öffnung des Eisenbahnmarktes im Wege steht.“

Auch wenn im weiteren Text dieser Präambel auf die unterschiedliche Zulassung von Systemen zwischen den nationalen Mitgliedsstaaten eingegangen wird, wird hieraus deutlich, dass eine einheitliche Vorgehensweise bei dem Nachweis der Einhaltung des Sicherheitsniveaus ein ausdrückliches Ziel dieser gesamten Verordnung ist. Es muss daher festgehalten werden, dass das Verfahren der Signifikanzbewertung diesem Anspruch nur anhand der vorhandenen Quellen ohne weitergehende Überlegungen und Ausführungen nicht gerecht wird.

3.2.2 Vorliegende Beispiele von Änderungen der ERA

Die Dokumente [ERA08²] und [EUR09] verfügen über Beispiele, an denen eine Anwendung des Verfahrens demonstriert wird. In diesem Abschnitt sollen nun diese Beispiele dahingehend untersucht werden, ob sie neue Erkenntnisse hinsichtlich des Verfahrens zur

Signifikanzbewertung liefern. Bei der Betrachtung der beiden Beispiele aus [ERA08²] soll darauf hingewiesen werden, dass sich diese Bewertung noch nicht auf das Verfahren der veröffentlichten CSM-Verordnung bezieht. Die Unterschiede von [ERA08²] und der CSM-Verordnung wurden im vorherigen Abschnitt dargestellt. Zum einen ist in [ERA08²] die Sicherheitsrelevanz im Gegensatz zur späteren Verordnung noch gleichbedeutend mit den anderen Kriterien aufgeführt. Zum anderen verfügen die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ noch jeweils über eine Erläuterung, die von der Möglichkeit statt der Unmöglichkeit spricht. Zusätzlich ist das Kriterium „Additive Wirkung“ hier noch nicht Teil der anderen Kriterien. Falls einer dieser drei Unterschiede bei der Betrachtung des ersten Beispiels eine Relevanz besitzt, wird auf diese Relevanz eingegangen. Das zweite Beispiel hingegen, welches in Abschnitt 3.2.2.2 beschrieben ist, wurde in beiden Dokumenten betrachtet, so dass ein direkter Vergleich der beiden Bewertungen möglich ist. Die Erkenntnisse aus der Betrachtung dieser fünf Beispiele sollen in Abschnitt 3.2.2.6 erläutert werden.

3.2.2.1 Beispiel 1 einer betrieblichen Änderung

Auf einer wenig befahrenen Strecke können die Fahrgäste in den Bahnhöfen die Gleise überqueren. Die Übergänge sind dabei mit optischen und akustischen Warnsignalen ausgestattet. Auf dieser Strecke soll nun die Verkehrsdichte erhöht werden. Die Tabelle 4 stellt die Bewertung des Beispiels Erhöhung der Verkehrsdichte dar. Aufgrund der geringen Folge von Ausfällen, der geringen Innovation und Komplexität sowie der guten Überwachbarkeit und Umkehrbarkeit ist diese Änderung als nicht signifikant eingeschätzt.

Beispiel Erhöhung der Verkehrsdichte - Betrieb	
Kriterium	Einschätzung
Änderung sicherheitsrelevant	Ja. Die Änderung könnte das potentielle Risiko eines Fahrgastes erhöhen, der die Gleise überquert.
Folge von Ausfällen	Gering. Es existieren durch die optischen und akustischen Signale Sicherheitsbarrieren.
innovative Elemente	Gering.
Komplexität	Gering.
Überwachung	Gut.
Umkehrbarkeit	Gut.

Tabelle 4: Bewertung des Beispiels „Erhöhung der Verkehrsdichte“

3.2.2.2 Beispiel 2 einer technischen Änderung

Dieses Beispiel betrifft einen manuell betriebenen Bahnübergang, bei dem die Art des Informationsaustauschs über die Fahrtrichtung des Zuges geändert wird. Da der Telefonanschluss von analog auf digital umgestellt werden soll, kann die Informationen über die Fahrtrichtung des Zuges nicht mehr durch zwei unterschiedliche Klingeltöne übertragen, sondern soll ab sofort mündlich ausgetauscht werden. Um Fehler bei dieser Informationsübertragung zu vermeiden, soll die ausgetauschte Information mit dem zweiten Fahrdienstleiter gegengeprüft werden. Die Tabelle 5 stellt die Einschätzung bezüglich der Kriterien dar, die dazu im Dokument genannt sind. Anhand dieser Kriterien sollte die Einschätzung laut Dokument nicht signifikant lauten. Es wird aber auf den erforderlichen

Nachweis hingewiesen, ob der Austausch eines bestehenden technischen Systems durch betriebliche Maßnahmen des mündlichen Gegenprüfens von Informationen letztendlich mindestens zum selben Sicherheitslevel führt. Nach Einschätzung der CSM-Arbeitsgruppe bringt eine Anwendung des kompletten CSM-Risikomanagementprozesses in diesem Fall vermutlich keinen Mehrwert. Aus diesem Grund sollte die Änderung als nicht signifikant eingestuft werden. Dieses Beispiel wurde neben der Erwähnung in [ERA08²] auch in [EUR09] betrachtet. Die finale Einschätzung hinsichtlich der Signifikanz ist beim Vergleich beider Bewertungen identisch. Hingegen wird in [EUR09] nicht auf die Kategorien der Kriterien „Komplexität“, „Innovation“ sowie „Überwachung“ eingegangen.

Beispiel Bahnübergang - Technik	
Kriterium	Einschätzung
Änderung sicherheitsrelevant	Ja. Risiko vorhanden, dass die Schranken am Bahnübergang nicht rechtzeitig schließen.
Folge von Ausfällen	<i>keine Aussage im Text</i>
innovative Elemente	Keine.
Komplexität	Gering.
Überwachung	Gut.
Umkehrbarkeit	<i>keine Aussage im Text</i>

Tabelle 5: Bewertung des Beispiels „Bahnübergang“

3.2.2.3 Beispiel 3 einer technischen Änderung

Auf einer bestehenden Strecke soll die Informationsübertragung nicht mehr über einen Linienleiter, sondern mittels Funkübertragung auf Basis von GSM-R stattfinden. Die Bewertung dieser Änderung ist in Tabelle 6 dargestellt. Aufgrund der Ausprägung der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ wird diese Änderung als signifikant eingestuft.

Beispiel GSM-R zur Informationsübertragung - Technik	
Kriterium	Einschätzung
Änderung sicherheitsrelevant	Ja. Das Signal vor einem Zug könnte auf Fahrt gestellt werden, obwohl der Abschnitt hinter dem Signal noch durch einen vorausfahrenden Zug besetzt ist.
Folge von Ausfällen	<i>keine Aussage im Text</i>
innovative Elemente	Hohe Innovation. Es handelt sich für den Hersteller um neue Verfahren und Technologien, die zum Einsatz kommen.
Komplexität	Hoch. Die Durchführung der Änderung ist komplex.
Überwachung	<i>keine Aussage im Text</i>
Umkehrbarkeit	<i>keine Aussage im Text</i>

Tabelle 6: Bewertung des Beispiels „GSM-R zur Informationsübertragung“

3.2.2.4 Beispiel 4 einer betrieblichen Änderung

Auf einer Strecke, auf der bisher eine zweite Person im Führerstand den Triebfahrzeugführer bei der Führung des Zuges unterstützt hat, soll in Zukunft ausschließlich der Triebfahrzeugführer alleine im Führerstand sein und auch die Aufgaben der zweiten Person übernehmen. Gegebenenfalls sollen Teile dieser Aufgaben durch zusätzliches technisches

Equipment übernommen werden (vgl. [ERA08] S.91ff). Die Tabelle 7 zeigt die Bewertung dieses Beispiels. Dieses Beispiel einer betrieblichen Änderung wird aufgrund der hohen Innovation sowie der hohen Komplexität als signifikante Änderung eingestuft.

Beispiel Triebfahrzeugführer - Betrieb	
Kriterium	Einschätzung
Änderung sicherheitsrelevant	Ja, da es sich um einen komplett anderen Weg des Führen des Zuges handelt.
Folge von Ausfällen	<i>keine Aussage im Text</i>
innovative Elemente	Hoch. Die Aufgaben des Triebfahrzeugführers werden um neue Aufgaben erweitert.
Komplexität	Hoch. Fehler des Triebfahrzeugführers können katastrophale Auswirkungen haben.
Überwachung	<i>keine Aussage im Text</i>
Umkehrbarkeit	<i>keine Aussage im Text</i>

Tabelle 7: Bewertung des Beispiels „Triebfahrzeugführer“

3.2.2.5 Beispiel 5 einer organisatorischen Änderung

Ein Infrastrukturunternehmen möchte seinen für die Wartung- und Instandhaltung zuständigen Bereich auslagern und diesen in Zukunft bei der Beauftragung in den Wettbewerb mit anderen externen Anbietern stellen. Die Tabelle 8 stellt die Einschätzung hinsichtlich dieses Beispiels dar. Diese Änderung wird aufgrund der drei Kriterien „Innovation“, „Komplexität“ und „Überwachung“ als signifikant eingestuft.

Beispiel Outsourcing - Organisation	
Kriterium	Einschätzung
Änderung sicherheitsrelevant	Ja. Da Personal und Aufgaben neuverteilt werden, ist zu erwarten, dass dieselbe Arbeit durch weniger Personal erledigt wird.
Folge von Ausfällen	<i>keine Aussage im Text</i>
innovative Elemente	Hoch. Es müssen die vertraglichen Beziehungen und die Kontrolle sowie die Leistungsüberwachung neu geregelt werden.
Komplexität	Hoch. Es muss eine neue Funktion beim Infrastrukturbetreiber für die Überwachung des Subunternehmers eingeführt werden, der die Wartung und Instandhaltung übernimmt.
Überwachung	Schlecht. Es ist schwierig, die Leistung des Subunternehmers effizient und aussagekräftig zu überprüfen.
Umkehrbarkeit	<i>keine Aussage im Text</i>

Tabelle 8: Bewertung des Beispiels „Outsourcing“

3.2.2.6 Neue Erkenntnisse aus der Betrachtung der Beispiele

In Abschnitt 3.2 konnte gezeigt werden, dass die Dokumente der ERA die Signifikanzbewertung unter einem risikobasierten Ansatz beschreiben. Die Rolle der qualitativen Kriterien "Innovation", "Komplexität", "Überwachung" und "Umkehrbarkeit" in dieser Bewertung wird nicht ausführlich erläutert. Zusätzlich konnte in den Abschnitten 3.1 und 3.2 festgehalten werden, dass die Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Unfällen“ noch nicht ganz deutlich wird und dieser Aspekt auch anhand dieser Beispiele näher betrachtet werden muss. Zunächst lassen die drei letzten Beispiele erkennen, dass sie dem Anschein nach vor allem aufgrund der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ als signifikant eingestuft worden sind. Dies könnte dafür sprechen, dass eine innovative und komplexe Änderung bereits ohne Berücksichtigung der weiteren Kriterien als signifikant angesehen werden kann. Auf das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wurde hingegen auf den ersten Blick bei der Bewertung dieser Beispiele nicht eingegangen. Auch fällt auf, dass das Kriterium „Umkehrbarkeit“ ausschließlich im ersten Beispiel zur Anwendung gekommen ist. Nach der Beschreibung der Auffälligkeiten bei der Betrachtung dieser fünf Beispiele wird im Folgenden nun eine eingehende Untersuchung der Kriterien und ihrer Rolle bei der Bewertung dieser Beispiele erfolgen.

Das Kriterium „Innovation“ ist in Beispiel 3 als hoch eingestuft, da neue Verfahren und Technologien zum Einsatz kommen. In Beispiel 4, wo die Aufgaben des Triebfahrzeugführers um neue Funktionen erweitert werden, wird die Innovation ebenso als hoch bewertet. In Beispiel 5 wird die Innovation der Änderung als hoch eingeschätzt, da die vertraglichen Beziehungen und die Leistungsüberwachung neu geregelt werden müssen. Vergleicht man diese Begründungen für die Einstufungen mit der Definition des Kriteriums „Innovation“ aus der CSM-Verordnung, lässt sich feststellen, dass die gewählten Begründungen in den Beispielen 3 und 4 mit der Definition des Kriteriums vereinbar sind. Für Beispiel 5 ist hingegen festzuhalten, dass es sich hierbei nicht um die entscheidende Innovation nach der Definition der CSM-Verordnung handelt. Das innovative Element bei der Implementierung der Änderung stellt bei diesem Beispiel für die betreffende Organisation die Tatsache dar, dass von nun an externe Dienstleister die Instandhaltung übernehmen können. Selbstverständlich müssen auch die vertraglichen Beziehungen erst einmal neu geschaffen werden, doch stellt dies keinen wesentlichen Aspekt hinsichtlich des Kriteriums „Innovation“ im Rahmen der Signifikanzbewertung dar. Die zusätzlich erwähnte Leistungsüberwachung ist in diesem Zusammenhang deutlich relevanter.

Untersucht man die Informationen aus den Beispielen hinsichtlich des Kriteriums „Komplexität“, verfügen nur die Beispiele 4 und 5 über ausführlichere Begründungen. Bei Beispiel 5 wird erläutert, dass die Komplexität hoch ist, da aus Sicht der Organisation eine neue Funktion geschaffen werden muss, die die Überwachung des Subunternehmers regelt. In Beispiel 4 wird die Komplexität als hoch eingestuft, da Fehler des Triebfahrzeugführers katastrophale Folgen haben können. Diese Begründung ist für das Kriterium „Komplexität“ ungeeignet, da nicht zu erkennen ist, worin die Komplexität dieser Änderung besteht. Vielmehr handelt es sich hier um die Beschreibung des Schadensausmaßes, welches aus potentiellen Fehlern des Triebfahrzeugführers resultieren kann.

Betrachtet man die Bewertung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ in den weiteren Beispielen, ist diese Bewertung wie bereits beschrieben nur in Beispiel 1 erfolgt. Hier wird in Tabelle 4 die „Folge von Ausfällen“ als gering eingeschätzt, da optische und akustische Signale als Sicherheitsbarrieren existieren. Dabei entspricht die Anwendung dieses Kriteriums der Definition aus der CSM-Verordnung sowie der in Kapitel 3.2 erläuterten Auffassung der ERA, wonach laut [ERA09] mit diesem Kriterium betrachtet wird, inwiefern eine Änderung trotz ihrer Sicherheitsrelevanz unter Berücksichtigung von möglichen Sicherheitsbarrieren sicher umgesetzt werden kann. In den weiteren Beispielen ist dieses Kriterium nicht in die Einschätzung der Signifikanz miteinbezogen worden. Da keine zusätzlichen Erläuterungen der Beispiele vorliegen, kann dies auf zwei mögliche Ursachen zurückzuführen sein. Zum einen ist es möglich, dass in diesen vier Beispielen nach Ansicht der ERA keine Sicherheitsbarrieren vorliegen. Für die als signifikant eingestuften Beispiele 3, 4 und 5 würde dies bedeuten, dass keine Sicherheitsbarrieren existieren, die dafür sorgen, dass die sicherheitsrelevante Änderung sicher umgesetzt werden kann und daher die „Folge von Ausfällen“ nicht näher erläutert wurde. Für Beispiel 2 hingegen ist das Fehlen der Begründung für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ nicht auf diese Weise erklärbar, da diese Änderung als nicht signifikant eingestuft worden ist. Somit wäre das Fehlen von Sicherheitsbarrieren, die den Grund für die nicht erfolgte Erläuterung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ darstellen könnte, ein Hinweis auf eine signifikante Änderung. In der abschließenden Bewertung des Beispiels als nicht signifikant wird jedoch hierauf nicht eingegangen. Dies führt zu der zweiten möglichen Begründung für die fehlende Berücksichtigung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ in den letzten vier Beispielen, dass die nicht eindeutige Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Ausfällen“ hierbei eine Rolle spielt. Für das Beispiel 2 in Tabelle 5 und das Beispiel 3 in Tabelle 6 sind die Prüfung der Sicherheitsrelevanz mit Hilfe der Beschreibung von Gefährdungen erläutert. Für das Beispiel 3 lautet beispielsweise die Begründung bezüglich der Sicherheitsrelevanz der Änderung: „Ja. Das Signal vor einem Zug könnte auf Fahrt gestellt werden, obwohl der Abschnitt hinter dem Signal noch durch einen vorausfahrenden Zug besetzt ist.“ Zusätzlich ist im Beispiel 3 keine Erläuterung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ vorhanden. Die CSM-Verordnung spricht bei dem Kriterium von der Betrachtung eines Worst-Case-Szenarios, welches gegebenenfalls zum Teil bereits in der Erläuterung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz enthalten ist, so dass die „Folge von Ausfällen“ nicht weiter beschrieben worden ist. Dieser hier erläuterte Aspekt macht deutlich, dass eine Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Ausfällen“ auch anhand der Betrachtung der Beispiele nicht klar zu erkennen ist. Vielmehr bieten die Beispiele einen Hinweis darauf, dass dieser Aspekt ein Problem in der Signifikanzbewertung darstellen kann.

Das Besondere an dem Beispiel 2 ist, dass es das einzige der fünf Beispiele darstellt, bei dem offensichtlich keine geringe „Folge von Ausfällen“ vorliegt und das Beispiel trotzdem als nicht signifikant eingestuft wurde. Die Sicherheitsrelevanz in diesem Fall besteht darin, dass die Schranken am Bahnübergang nicht rechtzeitig schließen und es dadurch zu Unfällen kommen kann. Nach [ERA09] soll das Kriterium „Folge von Ausfällen“ in Kombination mit den weiteren Kriterien überprüfen, inwieweit eine sichere Umsetzung der sicherheitsrelevanten Änderung trotzdem möglich ist. Da das Kriterium „Folge von Ausfällen“ innerhalb der Bewertung keine Betrachtung findet, liegen offensichtlich keine

Sicherheitsbarrieren vor, die auf eine sichere Umsetzung der als sicherheitsrelevant eingestuften Änderung hindeuten würden. Betrachtet man die weiteren Kriterien, wird auf das Kriterium „Umkehrbarkeit“ nicht eingegangen. Jedoch wird erläutert, dass keine innovativen Elemente vorhanden sind sowie die Komplexität dieser Änderung gering ist. Zudem wird die Überwachbarkeit der Änderung als gut bezeichnet. Die vorliegende Ausprägung dieser drei Kriterien müsste somit analog zu der Erläuterung aus [ERA09] dafür sorgen, dass die Änderung trotz fehlender Sicherheitsbarrieren sicher umgesetzt werden kann. Der Erläuterung in [ERA08²] und [ERA09] zu diesem Beispiel ist jedoch zu entnehmen, dass die Begründung dafür, dass diese Änderung nicht signifikant ist, nicht auf Basis dieser drei Kriterien erfolgt ist. Nach Ansicht der ERA ist die entscheidende Frage für dieses Beispiel, ob der Austausch des technischen Systems durch ein betriebliches Vorgehen letztendlich dieselbe Sicherheit zur Folge hat. Hierfür würde eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erforderlich sein. Da nach Ansicht der ERA dieses keinen zusätzlichen Nutzen bringen würde, sollte diese Änderung als nicht signifikant eingestuft werden.

Zunächst muss die Einschätzung des Kriteriums „Komplexität“ als „gering“ in Frage gestellt werden. In der CSM-Verordnung sowie in den in Abschnitt 3.2.1 erläuterten Dokumenten der ERA ist kein weiterer Hinweis auf das Verständnis dieses Kriteriums gegeben. Jedoch kann eine Änderung nicht nur wegen ihrer technischen Aspekte komplex sein, vielmehr können wie in Beispiel 5 auch betriebliche Aspekte einen Einfluss auf die Komplexität der Änderung haben. Die Umstellung der Telefongespräche von analoger auf digitale Übertragung in Beispiel 2 ist aus technischer Sicht nicht komplex. Hingegen wird in der Einschätzung der ERA übersehen, dass statt der Informationsübertragung mittels unterschiedlicher Töne nun ein betriebliches Verfahren unter Einbindung von drei Personen notwendig ist, um die Information über die Fahrtrichtung des Zuges zu übermitteln. Die Komplexität innerhalb des betrieblichen Prozesses nimmt also nachweisbar zu. Eine Betrachtung dieses Aspekts wurde an dieser Stelle jedoch unterlassen. In welchem Zusammenhang dies mit der nicht vorhandenen Erläuterung des Kriteriums „Komplexität“ steht, kann ohne Teilnahme an der Bewertung dieses Beispiels nicht geklärt werden. Jedoch liefert dies einen Hinweis darauf, dass eine ausführlichere Erläuterung des Kriteriums „Komplexität“ ähnlich den Erläuterungen der anderen Kriterien in der CSM-Verordnung sinnvoll ist. Aus der Betrachtung des Kriteriums „Komplexität“ wird deutlich, dass dieses Kriterium damit zumindest nicht mehr als „gering“ eingestuft werden sollte und somit auch als Indikator für eine nicht signifikante Änderung nicht mehr existiert. Betrachtet man die Erläuterung der ERA, so konnte bereits anhand der Ausprägung der Kriterien „Innovation“, „Komplexität“ sowie „Überwachung“ nicht eindeutig belegt werden, dass diese Änderung nicht signifikant ist, obwohl die Einschätzung der Komplexität hier zumindest fragwürdig ist. Dieser Aspekt wirft die Frage auf, welche Aussagekraft diese Kriterien sowie das in den letzten vier Beispielen gänzlich nicht betrachtete Kriterium „Umkehrbarkeit“ überhaupt besitzen. Die Nichtbetrachtung des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ in diesem Beispiel ist vor dem Hintergrund der Schwierigkeiten bei der Signifikanzbewertung für dieses Beispiel umso bemerkenswerter. Es ist davon auszugehen, dass bei einer unklaren Bewertung alle relevanten Kriterien mit in die Betrachtung einbezogen werden, bevor eine weitergehende Untersuchung erfolgt. Daher ist es umso unverständlicher, dass nicht darauf eingegangen worden ist, dass die Umstellung von analoger auf digitale Technik zumindest nicht ohne größeren Aufwand umzukehren ist. Aus

dieser Überlegung heraus ist die Relevanz des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ zumindest in Frage gestellt.

In allen Beispielen 3, 4 und 5 wird zumindest das Kriterium „Innovation“ als Erläuterung genutzt, warum die Änderung signifikant ist. Auch das Kriterium „Komplexität“ wird in diesen Beispielen zur Begründung der Signifikanz der Änderung herangezogen. Jedoch ist festzuhalten, dass dieses Kriterium „Komplexität“ in Beispiel 4 nicht der Definition der Verordnung entsprechend angewendet wird. Zusätzlich kommt das Kriterium „Überwachbarkeit“ in Beispiel 5 zur Anwendung und liefert einen Hinweis darauf, dass die Änderung signifikant ist. Jedoch darf der Umstand, dass diese drei Kriterien in den Beispielen 3, 4 und 5 in Teilen für eine signifikante Änderung gesprochen haben und diese Änderung letztendlich auch als signifikant bewertet worden ist, nicht als eindeutiger Nachweis der Aussagekraft dieser Kriterien missverstanden werden. Vielmehr können diese Beispiele auf eine Abhängigkeit der Signifikanz von dem Kriterium „Folge von Ausfällen“ hindeuten. Im ersten Beispiel lautet die Einschätzung bezüglich der „Folge von Ausfällen“ als gering und die Änderung wird als nicht signifikant eingeschätzt. In den Beispielen 3, 4 und 5 liegt hingegen keine geringe „Folge von Ausfällen“ vor, da aufgrund der nicht erfolgten Betrachtung offensichtlich keine Sicherheitsbarrieren existieren, die die Folge von Ausfällen abschwächen könnten. Diese drei Beispiele werden jeweils als signifikant eingestuft. Besonders aufschlussreich ist in diesem Zusammenhang jedoch das Beispiel 2, dass der hier geäußerten Vermutung eigentlich widersprechen sollte, da es über keine geringe „Folge von Ausfällen“ verfügt und doch als nicht signifikant eingestuft worden ist. Jedoch ist zu erkennen, dass in diesem Fall auch die positive Ausprägung von drei der vier verbleibenden Kriterien keine eindeutige Entscheidung zulässt, dass diese Änderung nicht signifikant ist. Vielmehr wurde für die Begründung, dass diese Änderung nicht signifikant ist, angeführt, dass eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens nach Ansicht der ERA keinen zusätzlichen Nutzen gebracht hätte. Es kann also an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Bewertung der Beispiele hinsichtlich ihrer Signifikanz vor allem auf Grundlage einer Risikobetrachtung stattgefunden hat. Jedes der fünf Beispiele außer Beispiel 4 enthält eine ausführliche Beschreibung des mit der Änderung verbundenen Risikos, wobei in Beispiel 4 diese Risikobetrachtung fälschlicherweise dem Kriterium „Komplexität“ zugeordnet ist. Falls wie in Beispiel 1 Sicherheitsbarrieren vorlagen und die „Folge von Ausfällen“ damit als „gering“ eingestuft wurde, war die Bewertung dieses Beispiels auch nicht signifikant. Für alle vier weiteren Beispiele lag eine solche geringe Ausprägung der „Folge von Ausfällen“ nicht vor. Einzig das Beispiel 2 wurde in diesem Fall als nicht signifikant bewertet, wobei diese Einschätzung letzten Endes auch wiederum auf eine Risikobetrachtung zurückzuführen ist. Die entscheidende Betrachtung in diesem Beispiel 2 war letztendlich, inwiefern der Austausch des technischen Systems durch die betriebliche Maßnahme des Gegenprüfens der Information dieselbe Sicherheit liefert.

Aus diesen Betrachtungen der Beispiele wird deutlich, dass vor allem die Aufgabe der qualitativen Kriterien innerhalb der Signifikanzbewertung unklar bleibt. An Beispiel 2, bei dem eine Betrachtung der qualitativen Kriterien für die finale Einschätzung der Signifikanz erforderlich ist, ist zu erkennen, dass vor dem Hintergrund der unklaren Rolle der qualitativen Kriterien die fehlende Gewichtung ein zusätzliches Hindernis für die Bewertung darstellt.

3.3 Zusammenfassung der Erkenntnisse und Erläuterung des weiteren Vorgehens

Die beiden vorangegangenen Abschnitte 3.1 und 3.2 haben die vorhandenen Informationen der CSM-Verordnung sowie der Veröffentlichungen der ERA mit Bezug zu dieser Verordnung dargestellt. Darüber hinaus wurde eine Betrachtung von vorhandenen Beispielen vorgenommen, die in den Veröffentlichungen der ERA enthalten sind. Die aus diesen beiden Abschnitten gewonnen Erkenntnisse sollen an dieser Stelle zusammengefasst werden, damit eine Grundlage für die weitere Betrachtung in dieser Arbeit vorliegt. Neben den Erkenntnissen bezüglich dieser Punkte sollen auch die im Rahmen der Abschnitte 3.1 und 3.2 identifizierten Probleme erläutert werden.

3.3.1 Erkenntnisse hinsichtlich der Definition wesentlicher Begriffe

Die Betrachtung der Dokumente und Beispiele in Abschnitt 3.2 sollte dazu genutzt werden, Erkenntnisse bezüglich der beiden wesentlichen Begriffe „Änderung“ und „Signifikanz“ zu gewinnen. Jedoch waren keine Erkenntnisse hinsichtlich des Begriffs der Änderung möglich, da auf diesen Begriff innerhalb der Dokumente nicht explizit eingegangen wurde. Nach Artikel 4 Absatz (1) der CSM-Verordnung hat der Vorschlagende die potenziellen Auswirkungen der Änderung auf die Sicherheit des Eisenbahnsystems zu prüfen. Diesbezüglich ist eine Definition erforderlich, auf welche Änderungen sich die CSM-Verordnung bezieht und für die somit auch eine Anwendung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung erfolgen muss. Wie bereits in Abschnitt 3.1 erläutert, sollen technische, betriebliche und organisatorische Änderungen, die sich auf die Betriebsbedingungen auswirken können, betrachtet werden. Diese Ausführungen innerhalb der Verordnung sind jedoch unzureichend. Ohne eine weitere Definition des Begriffs der Änderung besteht eine Unklarheit, ob auch zunächst irrelevant erscheinende Änderungen wie der Austausch von Leuchtmitteln an Signalanlagen oder die Umstellung von Dienstplänen für das Personal eines Stellwerks mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung untersucht werden müssen. Eine gedankliche Betrachtung der möglichen Anzahl von weiteren derartigen Änderungen innerhalb eines Unternehmens des Eisenbahnwesens macht deutlich, dass für die Vermeidung eines nicht zu vertretenden Aufwands eine eindeutige Definition des Begriffs der Änderung unbedingt erforderlich ist. Jedoch enthält [ERA09] eine Erläuterung des Kriteriums „Additive Wirkung“, die sich darauf bezieht, welche Änderungen mit in die Bewertung einbezogen werden sollen. In Abschnitt 3.2.1 wurden die Ausführungen des Dokuments [ERA09] bezüglich des Kriteriums „Additive Wirkung“ erläutert. Hieraus geht hervor, dass es sich bei der additiven Wirkung nicht um ein Kriterium zur Bewertung der Signifikanz der Änderung, sondern um die Erläuterung handelt, in welcher Weise zurückliegende sicherheitsrelevante, aber nicht signifikante Änderungen bei der Bewertung einer neuen Änderung im selben Bereich mit in die Bewertung einzubeziehen sind. In [ERA09²] wird zusätzlich erläutert, dass eine Erhöhung der maximal zulässigen Geschwindigkeit einer Bahnstrecke um 5 km/h für sich genommen nicht signifikant ist. Hingegen wäre die mehrmalige Durchführung dieser Erhöhung um 5 km/h ab einem gewissen Punkt schließlich doch signifikant.

Die Betrachtung der Beispiele konnte keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich des Zwecks des Verfahrens zur Signifikanzbewertung erbringen. Die Kenntnis dieses Zwecks wird umso

entscheidender vor dem Hintergrund, dass das Verfahren selbst einen Interpretationsspielraum lässt, der von der ERA so gewollt ist (vgl. Abschnitt 3.2.1). Ohne ein Verständnis für das Ziel der Signifikanzbewertung kann dieser Interpretationsspielraum jedoch dafür sorgen, dass zwei Vorschlagende bei der Betrachtung derselben Änderung, bei der auch alle weiteren Einflussfaktoren sowie die Erfahrungen der Vorschlagenden mit der Änderung identisch sind, zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangen.

3.3.2 Anwendung des Verfahrens und die Gewichtung der Kriterien

Die Betrachtung der ERA-Dokumente in Abschnitt 3.2 hat Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendung des Verfahrens und der Gewichtung der Kriterien ergeben. Zum einen sollen bei sicherheitsrelevanten Änderungen in jedem Fall alle Signifikanzkriterien betrachtet werden. Die Entscheidung hinsichtlich der Signifikanz kann jedoch auch an einem einzigen Kriterium festgemacht werden. Eine explizite Gewichtung der Kriterien ist in den ERA-Dokumenten nicht beschrieben. Jedoch ist auffällig, dass das Kriterium „Folge von Ausfällen“ unter anderem in [ERA09] im Vergleich zu den anderen Kriterien eine exponierte Stellung einnimmt. Von den weiteren Kriterien findet keines eine gesonderte Erwähnung in diesen Dokumenten. Ausschließlich auf das Kriterium „Additive Wirkung“ wird näher eingegangen, wobei dieses Kriterium nicht wie die anderen Kriterien zur eigentlichen Signifikanzbewertung herangezogen wird und daher eine Sonderrolle einnimmt. In diesem Zusammenhang ist die in Abschnitt 3.1 erfolgte Unterscheidung von qualitativen und risikobasierten Kriterien zu sehen. In Abschnitt 3.2 konnte gezeigt werden, dass die Erläuterungen der betrachteten Dokumente das Verfahren zur Signifikanzbewertung unter einem risikobasierten Aspekt sehen. Anhand der Betrachtung der Beispiele in Abschnitt 3.2.2 wurde deutlich, dass ein Kernproblem des Verfahrens die gleichzeitige Anwendung von qualitativen und risikobasierten Kriterien darstellt. Vor allem in Bezug auf die qualitativen Kriterien ist nicht zu erkennen, welche Rolle sie im Rahmen der Signifikanzbewertung einnehmen und welche Relevanz sie hierbei besitzen sollen. Zudem wurde gezeigt, dass ohne eine Gewichtung der Kriterien vor allem die Abwägung von qualitativen Kriterien bei der Signifikanzentscheidung schwierig ist.

Darüber hinaus wurde in [ERA08²] dargestellt, dass die einzelnen Kriterien anhand der drei Kategorien „gering“, „mittel“ und „hoch“ bewertet werden sollen. Die Abbildung 4 auf Seite 22 stellt hingegen eine Anwendung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung dar, bei dem die einzelnen Kriterien mittels der Einschätzung „ja“ oder „nein“ zu beantworten sind. Die Beschreibung der Kriterien ist in dieser Abbildung jeweils um ein Adjektiv („gering“/ „einfach“ / „hoch“) ergänzt worden, so dass eine Einschätzung des Kriteriums mit „ja“ jeweils auf eine nicht signifikante Änderung hindeutet und eine Einschätzung mit „nein“ auf eine signifikante Änderung. Eine Gewichtung der einzelnen Kriterien, falls sich widersprechende Einschätzungen vorliegen, ist wie bereits erläutert jedoch nicht beschrieben.

3.3.3 Verständnis der Kriterien zur Signifikanzbewertung

Hinsichtlich des Verständnisses der Kriterien konnte zunächst in Folge der Betrachtung des Dokuments [ERA08²] gezeigt werden, dass anhand der Prüfung der Sicherheitsrelevanz der mögliche Einfluss der Änderung auf die Sicherheit gezeigt werden soll. Vor allem das Kriterium „Folge von Ausfällen“ soll bei sicherheitsrelevanten Änderungen dann für die Betrachtung genutzt werden, inwiefern ein Versagen der Änderung des betrachteten Systems

durch Maßnahmen oder Sicherheitsbarrieren außerhalb des Systems abgeschwächt werden kann. In Kombination mit den weiteren Kriterien soll dies laut [ERA09] einer Klärung der Einschätzung dienen, ob diese Änderung trotz ihres Einflusses auf die Sicherheit sicher umgesetzt werden kann. Damit wird in [ERA09] explizit die Betrachtungsgrundlage für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ beschrieben. Implizit wird dadurch zusätzlich festgelegt, dass auch die anderen Signifikanzkriterien das Versagen der Änderung des betrachteten Systems bewerten. Anhand der Ausführungen in Abschnitt 3.1 ist deutlich geworden, dass eine Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz und des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ erforderlich ist. In Abschnitt 3.2 konnte diesbezüglich gezeigt werden, dass auch in den betrachteten Dokumenten hierzu keine explizite Abgrenzung vorhanden ist. Die Untersuchung der Beispiele hat in diesem Zusammenhang verdeutlicht, dass diese Abgrenzung unbedingt erforderlich ist.

3.3.4 Erläuterung des weiteren Vorgehens

Aus den vorangegangenen Erläuterungen heraus wird deutlich, dass mehrere Aspekte des Verfahrens zur Signifikanzbewertung einer weiteren Klärung bedürfen, die anhand der bis hierhin betrachteten Informationen nicht möglich war. Daher ist eine Ausweitung der Betrachtung erforderlich, welche in Kapitel 4 erfolgt. Hierfür sollen einerseits solche Verfahren zur Bewertung von Änderungen untersucht werden, die in eisenbahnfremden Bereichen zum Einsatz kommen. Zum anderen sollen all jene Verfahren und Ansätze näher beleuchtet werden, die sich auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung aus der CSM-Verordnung beziehen. Der Untersuchung dieser Ansätze und Verfahren kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie versuchen, die in diesem Kapitel 3 beschriebenen Probleme auszuräumen. Inwiefern sie alle beschriebenen Aspekte adressieren, ist jeweils zu untersuchen. Auch sollen in diesem Zusammenhang die Ansätze und Verfahren dahingehend betrachtet werden, ob sie zusätzliche Aspekte und Probleme des Verfahrens zur Signifikanzbewertung identifizieren.

4 Ausweitung der Betrachtung

Im vorangegangenen Kapitel 3 wurden mit der CSM-Verordnung sowie den Dokumenten der ERA alle vorhandenen Quellen untersucht, die die offizielle Sichtweise des europäischen Gesetzgebers sowie der zuständigen europäischen Behörde ERA auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung widerspiegeln. Die Ergebnisse dieser Betrachtung hinsichtlich der wesentlichen Teile dieses Verfahrens wurden in Abschnitt 3.3 dargestellt. Weitergehend wurde erläutert, welche Aspekte einer weiteren Klärung bedürfen. In diesem Kapitel erfolgt zunächst in Abschnitt 4.1 eine Betrachtung der Verfahren zur Änderungsbewertung, die aus eisenbahnfremden Bereichen stammen. In Abschnitt 4.2 soll daraufhin eine Untersuchung von neuen Ansätzen zur Signifikanzbewertung erfolgen, die aus dem Eisenbahnwesen stammen.

4.1 Verfahren zur Änderungsbewertung in eisenbahnfremden Bereichen

4.1.1 Safety Scanning in der Europäischen Luftsicherung

Steigende Komplexität sowie höherer Automatisierungsgrad bei gleichzeitig steigendem Luftverkehr waren für die europäische Luftsicherung EUROCONTROL der Anlass, mit einer Arbeitsgruppe ab dem Jahr 2004 ein Verfahren zu entwickeln, mit dem frühzeitig bei der Implementierung neuer Techniken und Verfahren darüber Aussagen getroffen werden können, welche Anstrengungen bei der Umsetzung aus sicherheitstechnischer Sicht notwendig sind. Das für diesen Zweck entwickelte Verfahren erhielt zunächst die Bezeichnung „Safety Screening Technique“ und trägt mittlerweile den Namen „Safety Scanning“. Für die Anwendung des „Safety Scannings“ existiert ein Excel-Tool sowie umfangreiches Begleitmaterial. Dieses Begleitmaterial umfasst neben der Beschreibung des eigentlichen Verfahrens die Erläuterung und Beschreibung der „Safety Fundamentals“ [ECA11²], auf deren Grundlage das Verfahren basiert, sowie Dokumente zur Durchführung und Moderation einer Anwendung des „Safety Scannings“ [ECB11]. Darüber hinaus existiert Begleitmaterial für die korrekte Interpretation der Ergebnisse [ECC11] und für das Verständnis des Zusammenwirkens der „Safety Fundamentals“ und der Ergebnisse der Anwendung des „Safety Scannings“ und den daraus erforderlichen Maßnahmen [ECD11].

4.1.1.1 Der Ursprung des Modells der Safety Fundamentals

Die „Safety Fundamentals“ sind Bestandteil eines Konzepts, das aus der Kernenergie stammt. In der Kernenergie tragen sie die Bezeichnung deterministische Designkriterien. Diese deterministischen Designkriterien stellen grundlegende Regeln dar, die in jedem Fall erfüllt sein müssen und deren Verletzung ein Handeln erforderlich macht. Darüber hinaus existieren in der Kernenergie übergeordnete Schutzziele sowie grundlegende Sicherheitsprinzipien, die dem übergeordneten Ziel dienen, Menschen und Umwelt vor den negativen Einflüssen ionisierender Strahlung zu schützen. Das genaue Zusammenspiel dieser Prinzipien und Grundsätze in der Kernenergie ist in Kapitel 4.1.3 beschrieben. Die im „Safety Scanning“ zur Anwendung kommenden „Safety Fundamentals“ spielen in der Kernenergie vor allem in der Phase der Erteilung der Betriebserlaubnis eine entscheidende Rolle. Damit stellen sie auch die Verbindung zu wirtschaftlichen Aspekten dar, denn zu spät erkannte Probleme im

Zusammenhang mit diesen Fundamentals können aufgrund der zu erwartenden Sicherheitsprobleme zu Verzögerungen oder zur Verweigerung der Zulassung seitens der Behörden führen. In der chemischen Industrie werden „Safety Fundamentals“ hingegen im Bereich der Überwachung und der Prüfung der sicherheitstechnischen Leistungsfähigkeit bestehender Anlagen eingesetzt. Darüber hinaus besitzen die im Verfahren des „Safety Scannings“ zum Einsatz kommenden „Safety Fundamentals“ Bezüge zu Vorschriften der Erdölindustrie, der Luftfahrt, der Luftraumüberwachung, des Eisenbahnwesens und weiterer ingenieurwissenschaftlicher Normen. Der Anhang 8.2.1 dieser Arbeit enthält eine Tabelle mit der Zuordnung der Fundamentals zu den Vorschriften der genannten unterschiedlichen Bereiche. Im folgenden Abschnitt sollen die im „Safety Scanning“ zum Einsatz kommenden Fundamentals und ihr Zusammenwirken erläutert werden. Um das Zusammenwirken der unterschiedlichen Fundamentals zu verdeutlichen, wurde ein Modell eines technischen Systems entwickelt, in dem alle Fundamentals einer von vier Perspektiven zugeordnet sind. Dieses Modell ist in Anhang 8.2.1 beschrieben.

4.1.1.2 Anwendung des Safety Scannings

Die Anwendung des „Safety Scannings“ erfolgt mit Hilfe eines Excel-Tools, das die Bezeichnung „Safety Scanning Tool“ trägt. Das Tool ist so aufgebaut, dass die jeweiligen Fundamentals der drei Bereiche Sicherheitsarchitektur, betriebliche Sicherheit und Sicherheitsmanagement mittels Multiple-Choice-Fragen beantwortet werden müssen. Jedem Fundamental sind dazu eine übergeordnete und mehrere untergeordnete Fragen zugeordnet. Kann man einen nachteiligen Einfluss auf das jeweilige Fundamental durch die übergeordnete Frage ausschließen, muss keine weitere Betrachtung für dieses Fundamental erfolgen. Ist dieses auf Anhieb nicht möglich, müssen die untergeordneten Fragen beantwortet werden. Diese dienen somit zum Verständnis und Klärung des Einflusses auf das Fundamental. Den jeweiligen Antwortmöglichkeiten der Multiple-Choice-Fragen sind Punktwerte zugeordnet. Zusätzlich sind die Fundamentals unterschiedlich stark gewichtet. Diese Gewichtung erfolgt nach dem Gesichtspunkt, welcher Aufwand erforderlich ist, in dem jeweiligen Bereich ein Problem nachträglich zu beheben. Die Gewichtung der Fundamentals im „Safety Scanning“ erfolgt anhand der Logik, dass erkannte Probleme dann besonders schwerwiegend sind, falls sie nur mit hohem Aufwand zu beheben sind. Die vorhandenen Fundamentals wurden für die Gewichtung einer der drei Kategorien zugeordnet, die in Tabelle 9 erläutert sind.

Gewichtungskategorie	Erläuterung der Kategorie
Hart	Im Nachhinein erkannte Probleme, die ein Fundamental betreffen, welches in diese Kategorie eingeordnet ist, sind nur mit erheblichen Anstrengungen zu beheben.
Weich	Im Nachhinein erkannte Probleme, die ein Fundamental betreffen, welches in diese Kategorie eingeordnet ist, können relativ problemlos behoben werden.
Gemischt	Im Nachhinein erkannte Probleme, die ein Fundamental betreffen, welches in diese Kategorie eingeordnet ist, können mit Hilfe einer normalen Anstrengung behoben werden. Die Kategorie "gemischt" stellt eine mittlere Einteilung zwischen den Kategorien "hart" und "weich" dar.

Tabelle 9: Erläuterung der Gewichtungskategorien

In Tabelle 10 ist beispielhaft dargestellt, wie für die Perspektive Sicherheitsarchitektur die jeweiligen Fundamentals gewichtet sind und welche Punktwerte den Multiple-Choice-Antworten hinterlegt sind. Die in der Tabelle dargestellten Gewichtungen teilen sich auf die vorhandenen untergeordneten Fragen auf. Existieren bei einem Fundamental, welches über

die Gewichtung „hart“ und einen Punktwert von 2,0 verfügt, vier untergeordnete Fragen, so teilt sich der Punktwert gleichmäßig auf jede untergeordnete Frage auf. In diesem Beispiel würde somit jede untergeordnete Frage mit 0,5 gewichtet sein. Die in [STR07] erläuterten Gewichtungen sind die Gewichtungen einer früheren Version des Excel-Tools. Einige Änderungen in der Zuordnung der Punktzahlen zu den Antwortmöglichkeiten haben sich nur im Bereich Sicherheitsmanagement ergeben. Die Änderungen zur angegebenen Literatur im Bereich Sicherheitsmanagement sind wiederum in Anhang 8.2.1 dargestellt.

Bereich Sicherheitsarchitektur				
Grundsatz	Bewertung der Antwort			Gewichtung des Grundsatzes
	Nein	Möglich	Ja	
Transparenz	+2	+1	0	Weich (0,5)
Redundanz	-1	+1	+2	Hart (2,0)
Abhängigkeit	-2	0	+2	Hart (2,0)
Funktionalität	+2	0	-2	Weich (0,5)
Integrität	-2	0	+2	Hart (2,0)
Wartungsfähigkeit	+2	0	-2	Gemischt (1,0)

Tabelle 10: Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsarchitektur

Sind alle Fragen mithilfe des Excel-Programms beantwortet worden, ermittelt das Programm aus den Antworten Ergebnisdiagramme, die die Bezeichnung „Web-Charts“ tragen. Da für jede Antwortmöglichkeit Punktwerte hinterlegt sind, erfolgt die Berechnung des Punktwerts eines Fundamentals im Excel-Tool über Multiplikation der Antworten mit der Gewichtung der untergeordneten Frage. Die einzelnen Punktwerte der untergeordneten Fragen eines Fundamentals werden daraufhin zu einem gemeinsamen Endergebnis aufaddiert.

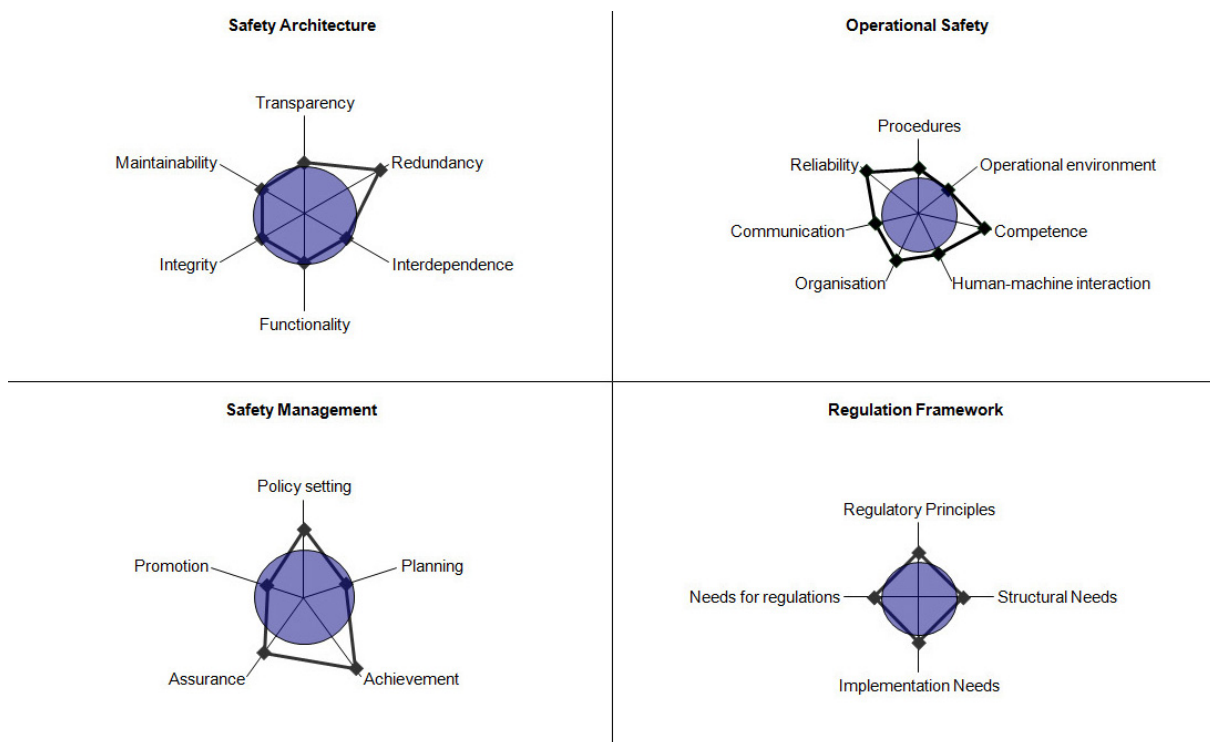


Abbildung 5: Ergebnisdarstellung mit Hilfe der „Web-Charts“ im Safety Scanning Tool

Ergebniswerte mit einem negativen Zahlenwert bedeuten im Rahmen des „Safety Scannings“, dass ein geringer Aufwand erforderlich ist, sofern Probleme in diesem Bereich auftreten. Positive Zahlenwerte sagen hingegen aus, dass ein Mehraufwand bei der Lösung von auftretenden Problemen erforderlich sein wird. Die Ergebnisse werden in einem Diagramm ausgegeben, welches beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt ist. In dem Ergebnisdiagramm sind die drei Sichtweisen sowie der zusätzliche Bereich „Regulation Framework“ als Kreisdiagramme dargestellt. Für jede Sichtweise stellen die dazugehörigen Fundamentals jeweils eine Achse dar, auf der die Punktwerte abgetragen werden. Die Kreisbegrenzung stellt einen Punktwert von Null dar. Punkte die innerhalb des Kreises liegen stehen für negative Zahlenwerte, außerhalb liegende Punkte für positive Zahlenwerte. Die so für alle Fundamentals im Diagramm dargestellten Zahlenwerte werden miteinander verbunden, so dass sich auf diese Weise die Darstellung aus der Abbildung 5 ergibt. Anhand dieser Darstellung ist es nun möglich, auf einen Blick zu erkennen, wie viele und welche Fundamentals außerhalb der Kreisbegrenzung liegen. Somit entsteht ein Eindruck, welcher Aufwand für die mit dem „Safety Scanning“ betrachtete Maßnahme erforderlich sein wird, um diese sicher durchzuführen.

Das Dokument [ECC11] beschreibt, wie anhand der Ergebnisse der Anwendung des „Safety Scannings“ Entscheidungen und Maßnahmen getroffen werden können. Die zu treffenden Maßnahmen sind abhängig von drei Faktoren sowie davon, ob ein Einfluss auf das betreffende Fundamental festgestellt werden konnte oder nicht. Der erste Faktor ist der Umfang der Änderung, der in die Kategorien klein, mittel und groß eingeteilt wird. Der zweite Faktor ist der Zeitpunkt, zu dem die Änderung durchgeführt wird. Dabei wird unterschieden nach frühen und späten Zeitpunkten der Durchführung. Diese Unterscheidung erfolgt anhand der Zuordnung des Zeitpunktes der Änderung zu den Phasen des Produktlebenszyklus. Diese Phasen tragen die Bezeichnung V0 bis V5 und sind Teil der E-OCVM (European Operational Concept Validation Methodology). Die Tabelle 11 zeigt eine Übersicht über diese sechs Phasen.

Phase	Bezeichnung	Beschreibung
V0	ATM Needs	Sammeln und Analysieren der Bedürfnisse und Anforderungen
V1	Scope	Entwicklung des betrieblichen Konzepts und der Pläne für die Zulassung
V2	Feasibility	Schrittweise Entwicklung des Systems und Bewertung des Konzepts
V3	Integration	Umsetzung und Test des Systems
V4	Pre-Operational	Zulassung des Systems
V5	Operational	Implementierung und Betrieb des Systems

Tabelle 11: Phasen der E-OCVM

Frühe Änderungen werden dabei laut [ECC11] den Phasen 0 bis 2 zugeordnet sowie späte Änderungen den Phasen 3 bis 5. Die Zahl der handelnden Personen beziehungsweise der handelnden Gruppen bei der Änderung stellt den dritten Faktor dar. Das erforderliche Vorgehen bei Änderungen wird in Abhängigkeit von diesen drei Faktoren beschrieben. Darüber hinaus erfolgt für jedes Fundamental eine individuelle Erläuterung, welches Vorgehen abhängig davon zu wählen ist, ob ein Einfluss auf dieses Fundamental durch die Anwendung des „Safety Scannings“ festgestellt wird oder nicht und ob die Änderung in einer frühen oder späten Phase durchgeführt wird. Anhand des beschriebenen Vorgehens werden sukzessive alle Fundamentals abgearbeitet und in einer Diskussion unter Führung des

Moderators besprochen, so dass letztendlich nach dem Erhalt der Ergebnisdiagramme und deren Diskussion ein Eindruck über die notwendigen Maßnahmen zur Umsetzung der Änderung vorliegt.

4.1.1.3 Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung

In diesem Kapitel soll geklärt werden, ob und wie sich die Fundamentals mit den Kriterien des CSM-Verfahrens aus Abschnitt 3.1 vergleichen lassen. Dafür erfolgt eine Zuordnung der Kriterien des CSM-Verfahrens zu den Fundamentals. Wie bereits erläutert, besitzt das „Safety Scanning“ neben dem rechtlichen Hintergrund drei Perspektiven auf eine Änderung. Im Gegensatz zum CSM-Verfahren erfolgt keine Unterscheidung der Änderungen in die Kategorien technische, betriebliche oder organisatorische Änderung. Diese Unterscheidung hat im CSM-Verfahren hingegen auf das anzuwendende Verfahren und seine Kriterien keine Auswirkungen. Im „Safety Scanning“ erfolgt die Bewertung einer Änderung mit Hilfe der Fundamentals aller drei Perspektiven. Eine Zuordnung der Kriterien zu den Fundamentals soll daher in jeder der drei Perspektiven Sicherheitsarchitektur, betriebliche Sicherheit und Sicherheitsmanagement erfolgen. Aufgrund des unterschiedlichen Ansatzes des „Safety Scannings“ lassen sich für die Kriterien nicht ausschließlich ein Fundamental je Perspektive zuordnen, sondern eine Kombination von Fundamentals. Der unterschiedliche Ansatz der beiden Verfahren hat auch zur Folge, dass sich für einige Kriterien des CSM-Verfahrens keine vergleichbaren Fundamentals im „Safety Scanning“ finden. Im Folgenden findet nun die Untersuchung der einzelnen Kriterien statt.

4.1.1.3.1 Sicherheitsrelevanz

Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz stellt im CSM-Verfahren eine Vorbewertung der Auswirkungen dar, die beim möglichen Versagen der Änderung auftreten können. Für die Betrachtung der Sicherheitsrelevanz lassen sich im „Safety Scanning“ keine vergleichbaren Fundamentals finden. Die Ursache liegt darin begründet, dass beim „Safety Scanning“ im Gegensatz zum CSM-Verfahren kein risikobasierter Ansatz verfolgt wird. Eine Betrachtung von Risiken und Gefährdungen findet hier nicht statt. Vielmehr soll das „Safety Scanning“ einen Überblick darüber ermöglichen, welche Anstrengungen für die sichere Umsetzung aus sicherheitstechnischer Sicht erforderlich sind. Somit werden anhand des „Safety Scannings“ solche Änderungen betrachtet, die eine mögliche Auswirkung auf die Sicherheit besitzen, auch wenn dies keine explizite Vorbedingung für die Anwendung des Verfahrens darstellt.

4.1.1.3.2 Folge von Ausfällen

Wie für das Kriterium „Sicherheitsrelevanz“ lässt sich für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ kein vergleichbares Fundamental im „Safety Scanning“ finden. Dieses Kriterium betrachtet den ungünstigsten anzunehmenden Fall bei einem Ausfall des Systems, welcher auf die Änderung zurückzuführen ist. Diese Art der risikobasierten Betrachtung ist im „Safety Scanning“ nicht enthalten und müsste gesondert erfolgen.

4.1.1.3.3 Komplexität

Das Kriterium „Komplexität“ besitzt eine Besonderheit im Vergleich zu den beiden weiteren Kriterien „Innovation“ und „Überwachbarkeit“. Im Gegensatz zu diesen beiden Kriterien, die

vor allem die Fähigkeit der Organisation hinsichtlich des Umgangs mit den innovativen Elementen der Änderung beziehungsweise die Fähigkeit zur Überwachung dieser Änderung betreffen, besitzt das Kriterium „Komplexität“ einen Einfluss auf eine deutlich größere Zahl an Fundamentals. Die Ursache ist darin zu suchen, dass das Modell des „Safety Scannings“ auf die Sicherheitseinflüsse durch Abhängigkeiten innerhalb und zwischen Systemen ein besonderes Gewicht in der Bewertung legt und dies in dem Begleitdokument [ECA11²] auch noch einmal herausstellt.

Im Bereich des Sicherheitsmanagements sind die beiden Fundamentals „Safety Policy“ und „Safety Achievement“ von dem Kriterium „Komplexität“ betroffen. Das Fundamental „Safety Policy“ betrifft vor allem das Verständnis für die wesentlichen Elemente innerhalb eines SMS. Eine der Fragen zu diesem Fundamental zielt darauf ab, ob ein Verständnis für die Komplexität des Systems vorliegt. Im Falle einer komplexen Änderung wird dieses Fundamental für das Sicherheitsmanagement zu beobachten sein. Des Weiteren betrifft das Fundamental „Safety Achievement“ unter anderem Verantwortlichkeiten innerhalb komplexer Systeme, die von komplexen Änderungen betroffen sein können.

Die Fähigkeiten der Organisation im Umgang mit den Einflüssen der Komplexität auf die Änderung sind durch das Fundamental „Organisation“ abgedeckt. Dieses Fundamental untersucht, ob und in welcher Form sich Änderungen in der statischen oder dynamischen Struktur der vorhandenen Arbeitsprozesse und Betriebsabläufe ergeben und ob Aspekte berücksichtigt werden müssen, die sich zwischen verschiedenen Organisationen ergeben. Gleichzeitig ist auch das Fundamental „Procedures“ vom Einfluss des Kriteriums „Komplexität“ betroffen. Dieses Fundamental beschreibt die Notwendigkeit für klar verteilte Zuständigkeiten zwischen den Beteiligten, welche durch zu komplexe betriebliche Abläufe verloren gehen können. In ähnlicher Weise ist das Fundamental „Communication“ betroffen, das beschreibt, ob und in welcher Weise sich Änderungen in der Form der Kommunikation zwischen Prozessbeteiligten ergeben. Zudem enthält das Fundamental „Reliability“ einen Aspekt, der auch vom Kriterium „Komplexität“ betroffen ist. Dieser Aspekt betrifft den Grad der Kopplung zwischen Komponenten und Funktionen des Systems. Es wird auf den Zusammenhang hingewiesen, dass in Systemen mit einem hohen Grad an Kopplung besonders hohe Abhängigkeiten vorliegen können. Dieser Aspekt stellt wiederum die Verbindung zum Fundamental „Interdependence“ dar, welches in der Perspektive der Sicherheitsarchitektur vom Kriterium „Komplexität“ betroffen ist. Dieses Fundamental befasst sich damit, inwieweit das betrachtete System in unbeabsichtigter Art und Weise mit anderen Systemen interagiert. In der Beschreibung des Fundamentals wird darauf hingewiesen, dass in komplexen Systemen die Gefahr wächst, dass unbeabsichtigte Abhängigkeiten entstehen. Diese Abhängigkeiten werden in [ECA11²] als der kritischste Aspekt für die Sicherheit beschrieben. Dabei wird auf unterschiedliche Formen von Abhängigkeiten beispielsweise zwischen technischen Systemen und Softwarefunktionen hingewiesen. Darüber hinaus existieren Abhängigkeiten beispielsweise zwischen menschlichen Bedienern bei betrieblichen Aufgaben sowie Abhängigkeiten innerhalb und zwischen Organisationen. Neben diesem Fundamental ist auch das Fundamental „Transparency“ betroffen, welches das Verständnis für das System und seine Funktionen beschreibt. Komplexe Änderungen können zur Folge haben, dass dieses Verständnis leidet.

4.1.1.3.4 Innovation

Das Kriterium „Innovation“ deckt zwei unterschiedliche Aspekte ab. Dies sind zum einen die innovativen, vor allem technischen Elemente, die die Änderung aus Sicht des Eisenbahnwesens besitzt. Zum anderen sind dies die Elemente, die für die durchführende Organisation innovativ sind. Im Bereich des Sicherheitsmanagements existiert kein Fundamental, das sich einem der beiden Aspekte des Kriteriums „Innovation“ zuordnen lässt. In der Perspektive „betriebliche Sicherheit“ hingegen beschreibt das Fundamental „Competence“ die Fähigkeiten der Organisation, mit den technischen und betrieblichen Aspekten des Systems und auch der Änderung an diesem System umgehen zu können. Damit deckt das Fundamental „Competence“ die Elemente einer Änderung ab, die innovativ für die durchführende Organisation sind. In der Perspektive „Sicherheitsarchitektur“ deckt das Fundamental „Transparency“ die technischen Elemente der Innovation ab, inwiefern Verständnis für die Funktion und das Verhalten des Systems sowie für Änderungen an diesem System existiert.

4.1.1.3.5 Überwachung

Das Kriterium „Überwachung“ beschreibt beim CSM-Verfahren die Fähigkeit, die implementierte Änderung über den kompletten Lebenszyklus zu überwachen und erforderliche Eingriffe durchführen zu können. In der Perspektive des Sicherheitsmanagements lässt sich dieses Kriterium dem Fundamental „Assurance“ zuordnen. Dieses Fundamental beschreibt die Fähigkeit, mögliche Sicherheitsprobleme durch die Überwachung der Sicherheitsleistung des Systems zu erkennen und in diesem Fall in der Lage zu sein einzugreifen. Im Bereich der betrieblichen Sicherheit betrifft die Fähigkeit zur Überwachung vor allem die beiden Fundamentals „Organization“ und „Reliability“. Das Fundamental „Organization“ beschreibt dabei unter anderem die Fähigkeit, ob die betriebliche Organisation in der Lage ist, die Überwachung der sicheren Funktionsweise des Systems zu gewährleisten. Das Fundamental „Reliability“ beschreibt die Fähigkeit des Systems, Fehler zu erkennen und bei solchen das System in einen sicheren Zustand zu überführen. Innerhalb der Perspektive „Sicherheitsarchitektur“ betrifft das Kriterium „Überwachung“ das Fundamental „Maintainability“. Dieses Fundamental beschreibt die Fähigkeit des Systems, über die gesamte Laufzeit die Systemfunktionen sicher zu gewährleisten und falls notwendig die sichere Funktion des Systems wiederherstellen.

4.1.1.3.6 Umkehrbarkeit

Das Kriterium Umkehrbarkeit wird im CSM-Verfahren beschrieben als die Fähigkeit, den Zustand des Systems vor der Umsetzung der Änderung wiederherzustellen. Ist dies nicht oder nur schwer möglich, geht das CSM-Verfahren davon aus, dass die Änderung eher signifikant ist. Das Kriterium Umkehrbarkeit ist in diesem Kontext als Fundamental im „Safety Scanning“ nicht wiederzufinden. Das „Safety Scanning“ untersucht die Einflüsse auf die Fundamentals des Systems in den drei unterschiedlichen Bereichen Betrieb, System und Organisation. Neben der Untersuchung dieser Einflüsse findet hingegen keine unmittelbare Betrachtung der individuellen Eigenschaften der Änderung statt und ob diese wieder rückgängig zu machen sind.

Dennoch ist die Umkehrbarkeit durch die Gewichtung der einzelnen Fundamentals im „Safety Scanning“ enthalten. In Abschnitt 4.1.1.2 wurde diese Gewichtung der Fundamentals beschrieben; die Tabelle 9 auf Seite 36 erläutert die drei unterschiedlichen Gewichtungskategorien „hart“, „weich“ sowie „gemischt“. Die Einordnung eines Fundamentals in diese Kategorien ist davon abhängig, welcher Aufwand erforderlich ist, um im Nachhinein erkannte Probleme innerhalb des Bereichs des Fundamentals zu beheben. Sind Probleme innerhalb eines Fundamentals besonders schwierig rückgängig zu machen, wird dieses Fundamental in die Gewichtungskategorie „hart“ eingeteilt und besitzt damit einen Faktor von 2,0. Sind hingegen in dem Bereich eines Fundamentals Probleme besonders einfach rückgängig zu machen, besitzt dieses Fundamental die Gewichtung „weich“ und einen Faktor von 0,5. Die Gewichtung „gemischt“ mit einem Faktor von 1,0 gilt für Fundamentals, in dessen Bereich Probleme mit einem normalen Aufwand zu beheben sind. Der wesentliche Unterschied dieser Gewichtung zum CSM-Kriterium „Umkehrbarkeit“ besteht darin, dass die Gewichtung die Umkehrbarkeit in den Bereichen der einzelnen Fundamentals betrachtet und nicht die Umkehrbarkeit einer Änderung. Die Änderungen werden im „Safety Scanning“ anhand der Einflüsse auf die „Safety Fundamentals“ bewertet, so dass hier diese Umkehrbarkeit nur indirekt über die Gewichtung der Fundamentals in die Bewertung der Änderung einfließt.

4.1.1.3.7 Additive Wirkung

Das Kriterium „Additive Wirkung“ des CSM-Verfahrens stellt wie in Abschnitt 3.2 erläutert kein Kriterium im eigentlichen Sinne, sondern vielmehr eine Handlungsvorschrift dar, wie zurückliegende sicherheitsrelevante, aber nicht signifikante Änderungen in die Bewertung miteinbezogen werden müssen. Ein solches Kriterium existiert im „Safety Scanning“ nicht.

4.1.1.3.8 Auswertung des Vergleichs.

		Safety Fundamentals des Safety Scannings		
		Sicherheitsmanagement	betriebliche Sicherheit	Sicherheitsarchitektur
CSM-Kriterien	Sicherheitsrelevanz	-	-	-
	Folge von Ausfällen	-	-	-
	Innovation	-	Competence	Transparency
	Komplexität	Safety Policy/ Safety Achievement	Organization/ Procedures/ Reliability	Interdependence/ Transparency
	Überwachung	Assurance	Organization/ Reliability	Maintainability
	Umkehrbarkeit	<i>im Safety Scanning über die Gewichtung der Fundamentals enthalten</i>		
	additive Wirkung	-	-	-

Tabelle 12: Vergleich CSM-Kriterien mit den Safety Fundamentals

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Zuordnung der Kriterien des CSM-Verfahrens zu den „Safety Fundamentals“ des „Safety Scannings“ zusammengefasst. Hieraus ist zu erkennen, dass sich nur zu den Kriterien „Innovation“, „Komplexität“ und „Überwachung“ Fundamentals zuordnen lassen. Für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ ist eine Zuordnung nicht möglich, hingegen ist dieses Kriterium in der Gewichtung der Fundamentals enthalten. Auch ist zu erkennen, dass das Kriterium „Komplexität“ die größte Anzahl an Kriterien betrifft. Es ist aber zu betonen, dass in diesem Abschnitt die Fundamentals gesucht wurden, die die einzelnen CSM-Kriterien und ihre Aspekte besonders gut abbilden. Eine Untersuchung

darüber, wie groß die jeweiligen Einflüsse auf die Fundamentals beispielsweise durch komplexe Aspekte einer Änderung sind, ist an dieser Stelle nicht erfolgt.

4.1.1.4 Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens

Der Vergleich der Fundamentals des „Safety Scannings“ mit den CSM-Kriterien hat gezeigt, dass wichtige Unterschiede zwischen beiden Verfahren bestehen. Das Verfahren des „Safety Scannings“ ist ausschließlich qualitativ und enthält keine quantitativen oder semi-quantitativen Bewertungskriterien. Auch wird in keinem Fundamental direkt das Risiko einer Änderung betrachtet. Aus diesem Grund lassen sich für die CSM-Kriterien „Sicherheitsrelevanz“ und „Folge von Ausfällen“ im Verfahren des „Safety Scannings“ keine vergleichbaren Ansätze finden. Es konnte jedoch in [PET09] und in [MIL11] gezeigt werden, dass eine Bewertung von Änderungen im Bahnwesen mit Hilfe des „Safety Scannings“ möglich ist und belastbare Ergebnisse liefert. Im Gegensatz zum CSM-Verfahren wurden vor allem eine strukturiertere Anwendung sowie eine deutlich besser beschriebene wissenschaftliche Grundlage in Form der „Safety Fundamentals“ festgestellt. Der wesentliche Vorteil des „Safety Scannings“ ist seine Anwendung, die abgesehen von der durch den Anwender zu treffenden Wahl der Multiple-Choice-Antwort keinerlei Interpretationsspielraum lässt. Jedoch ist anhand des Ergebnisdiagramms des „Safety Scannings“ keine unmittelbare Einschätzung der Signifikanz der Änderung möglich, so dass hierfür eindeutige Regeln definiert werden müssen, um einem Interpretationsspielraum auch an dieser Stelle auszuschließen.

Hinsichtlich des Kriteriums „Komplexität“ konnte festgestellt werden, dass das Kriterium durch mehrere Fundamentals abgedeckt ist. Diese Fundamentals im „Safety Scanning“ betreffen zudem auch betriebliche Aspekte der Komplexität. Dieses Ergebnis kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass das Kriterium „Komplexität“ innerhalb des CSM-Verfahrens neben den technischen auch die betrieblichen Aspekte der Komplexität betrachtet. Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben ist dieser Aspekt bisher nicht in der Erläuterung des Kriteriums „Komplexität“ in der CSM-Verordnung enthalten. In Abschnitt 3.3 wurde bezüglich des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ festgehalten, dass seine Relevanz für die Signifikanzbewertung aufgrund der Betrachtungen in Abschnitt 3.2 in Frage gestellt wird. Hingegen hat die Betrachtung der Fundamentals gezeigt, dass die Aspekte des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ im „Safety Scanning“ eine wesentliche Rolle spielen und sie hier für die Gewichtung der Fundamentals herangezogen werden. Auch konnte gezeigt werden, dass die Aspekte der weiteren qualitativen Kriterien „Innovation“ sowie „Überwachung“ im „Safety Scanning“ durch Fundamentals vertreten sind.

In Abschnitt 3.3 wurden die Aspekte erläutert, die bei der Betrachtung der Ansätze und Verfahren geklärt werden sollten. Ein Aspekt stellt die Fragestellung dar, welche Relevanz die vier Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für die Signifikanzbewertung von Änderungen besitzen. Hier konnte nachgewiesen werden, dass die Aspekte dieser Kriterien eine Relevanz für die Bewertung von Änderungen anhand des „Safety Scannings“ besitzen. Jedoch konnte innerhalb dieser Betrachtung auch festgestellt werden, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie das Kriterium „Folge von Ausfällen“ im „Safety Scanning“ nicht enthalten sind, da das „Safety Scanning“ keinen risikobasierten Ansatz verfolgt. Daraus ergibt sich, dass die vier erläuterten Kriterien in einem qualitativen

Verfahren zur Änderungsbewertung Relevanz besitzen. Da sie über diese Relevanz aber in einem qualitativen Verfahren verfügen, bekommt die Fragestellung weiteres Gewicht, ob sie diese Relevanz auch in einem risikobasierten Verfahren besitzen können und wie die Gewichtung zwischen qualitativen und risikobasierten Kriterien aussieht. In dem in Abschnitt 4.1.1.3 erfolgten Vergleich von CSM-Kriterien und den „Safety Fundamentals“ wurde ausschließlich eine Aussage hinsichtlich der Vergleichbarkeit der jeweiligen Aspekte getroffen. Eine Untersuchung der möglichen Gewichtung dieser Kriterien hat innerhalb dieser Betrachtung nicht stattgefunden. Für diesen Zweck könnte eine solche Änderung mit dem „Safety Scanning“ betrachtet werden, die einerseits über einen besonders ausgeprägten Aspekt beispielsweise im Bereich Komplexität verfügt. Zudem müsste für eine vergleichbare Änderung eine Bewertung erfolgen, bei der der einzige relevante Unterschied darin besteht, dass diese Änderung nur über geringe Aspekte im Bereich Komplexität verfügt. Auch wenn dieses Vorgehen für alle Kriterien belastbare Ergebnisse hinsichtlich der Höhe ihres Einflusses auf die Fundamentals liefern würde, würde sich hieraus nicht unmittelbar eine Gewichtung der Kriterien untereinander ergeben. Auch sind die Aspekte der risikobasierten Kriterien der „Prüfung der Sicherheitsrelevanz“ und der „Folge von Ausfällen“ nicht im „Safety Scanning“ enthalten, so dass ausschließlich eine Herleitung der Gewichtung der qualitativen Kriterien möglich wäre. Jedoch ist selbst hierfür festzuhalten, dass die vom Kriterium „Umkehrbarkeit“ betroffenen Aspekte innerhalb des „Safety Scannings“ zur Gewichtung der einzelnen Fundamentals genutzt werden, so dass sich anhand des beschriebenen Vorgehens keine Gewichtung des qualitativen Kriteriums „Umkehrbarkeit“ ermitteln ließe. Wie eine gemeinsame Gewichtung der risikobasierten und aller qualitativen Kriterien aussehen könnte, ist anhand dieses Vorgehens damit nicht zu definieren.

Darüber hinaus ist im Gegensatz zum CSM-Verfahren die Anwendung dieses Verfahrens nicht durch Gesetze oder Verordnungen vorgeschrieben, so dass wiederum keine Festlegung beschrieben ist, für welche Änderungen dieses Verfahren anzuwenden ist. Damit können keine Erkenntnisse für die Definition des innerhalb des CSM-Verfahrens genutzten Begriffs der „Änderung“ aus der Betrachtung des „Safety Scannings“ gewonnen werden.

4.1.2 Die Bewertung von Änderungen an technischen Anlagen und Maschinen

Bei Änderungen an technischen Anlagen muss im Besonderen darauf geachtet werden, dass die Anforderungen der EG-Konformität eingehalten werden. Vor diesem Hintergrund muss für wesentliche Änderungen an Anlagen eine neue EG-Konformitätsbewertung erfolgen, welche mit erheblichem Aufwand verbunden sein kann. Dieses Problem betrifft im besonderen Maße ältere Anlagen, bei denen gegebenenfalls wichtige Informationen für diese Neubewertung nicht vorliegen. Diese Situation lässt sich mit den Problemen vergleichen, welche bezüglich älterer Eisenbahntechnik bestehen, auf die bei signifikanten Änderungen das CSM-Risikomanagementverfahren angewendet werden muss (s. Abschnitt 2.3). Der Begriff der „wesentlichen Änderung“ nimmt damit einen vergleichbaren Stellenwert wie der Begriff der „signifikanten Änderung“ ein. In diesem Abschnitt wird nun das Verfahren für die Bewertung der Wesentlichkeit von Änderungen an technischen Anlagen vorgestellt. Nach der Erläuterung des Bewertungsverfahrens des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG) soll dieses mit dem Verfahren der CSM-Verordnung zur Bewertung von Änderungen hinsichtlich der Anwendung und der Kriterien verglichen werden.

4.1.2.1 Das Verfahren bei Anlagenänderungen nach dem Produktsicherheitsgesetz

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG regelt zunächst den Begriff der Maschine und welche Produkte durch die Maschinenrichtlinie abgedeckt sind. Des Weiteren definiert sie den Begriff des Inverkehrbringens und der Konformitätserklärung. Die EG-Konformitätserklärung ist ein rechtsverbindlich unterschriebenes Dokument, mit dem die Konformität eines Produktes zu einer oder mehreren EG-Richtlinien bestätigt wird. Die Maschinenrichtlinie ist die einzige EG-Richtlinie, die eine Änderung einer bestehenden Installation betrachtet und ein mögliches Bewertungsverfahren in ihrem Anhang definiert. Andere EG-Richtlinien wie die Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit (2004/108/EG) oder die Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG) betrachten Umbauten oder wesentliche Änderungen von Anlagen hingegen nicht. Die „Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz“ setzt dabei diese europäische Maschinenrichtlinie in nationales Recht um (vgl. [BRD11]). In diesem Abschnitt wird erläutert, wie mit Maschinen beziehungsweise Anlagen umgegangen werden soll, die zum Teil bereits eine EG-Konformitätserklärung besitzen, aber durch eine Retrofit-Maßnahme eine Änderung erfahren. Die entscheidende Frage in diesem Zusammenhang ist, ob die Maschine oder Anlage durch die Retrofit-Maßnahme wesentlich verändert wurde. Für die Klärung dieser Fragestellung wurde durch das Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMAS) im Jahr 2000 ein Interpretationspapier veröffentlicht, da der Begriff der wesentlichen Änderung innerhalb des ursprünglichen Gerätesicherheitsgesetz und auch in der Neufassung des ProdSG nicht weiter ausgeführt ist. Dieses Interpretationspapier [BAS10] liefert somit eine rechtsverbindliche Definition des unbestimmten Begriffs der wesentlichen Änderung.

Abbildung 6 zeigt das Verfahren zur Bewertung von wesentlichen Änderungen nach dem Interpretationspapier der BMAS. Zunächst wird erläutert, welche Umbauten wesentliche Änderungen darstellen können. Hierbei werden explizit eine Leistungserhöhung, eine Funktionsänderung oder eine Funktionserweiterung sowie Änderungen an der Sicherheitstechnik der Maschine als Beispiele genannt. Bei der Prüfung, ob eine wesentliche Änderung vorliegt, wird zunächst betrachtet, ob eine neue Gefährdung oder eine Risikoerhöhung vorliegt. Hierfür ist nach [SIE10] in der Regel die Durchführung einer Risikoanalyse unerlässlich. Wird eine solche neue Gefährdung oder eine Risikoerhöhung ausgeschlossen, liegt in jedem Fall keine wesentliche Änderung vor. Wird das Vorhandensein einer neuen Gefährdung oder eine Risikoerhöhung nicht ausgeschlossen, muss im folgenden Schritt überprüft werden, ob die Maschine oder Anlage weiterhin als sicher eingestuft werden kann. Wenn dies der Fall ist, liegt für die Maschine oder Anlage keine wesentliche Änderung vor. Andernfalls muss im Folgenden untersucht werden, ob die Maschine oder Anlage wieder in einen sicheren Zustand überführt werden kann, indem eine einfache trennende Schutzeinrichtung zum Einsatz kommt. Ist keine trennende Schutzeinrichtung möglich, muss als nächstes betrachtet werden, ob die möglichen Personenschäden irreversibel sein können oder ob mit einem hohen Sachschaden zu rechnen ist. Kommt der Verantwortliche, in der Regel ist dies der Betreiber, zu der Einschätzung, dass mit irreversiblen Personenschäden oder hohen Sachschäden zu rechnen ist, muss er im folgenden Schritt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens bewerten. Nur wenn die Wahrscheinlichkeit für irreversible Personenschäden oder hohe Sachschäden als hoch angesehen, handelt es sich um eine wesentliche Änderung.

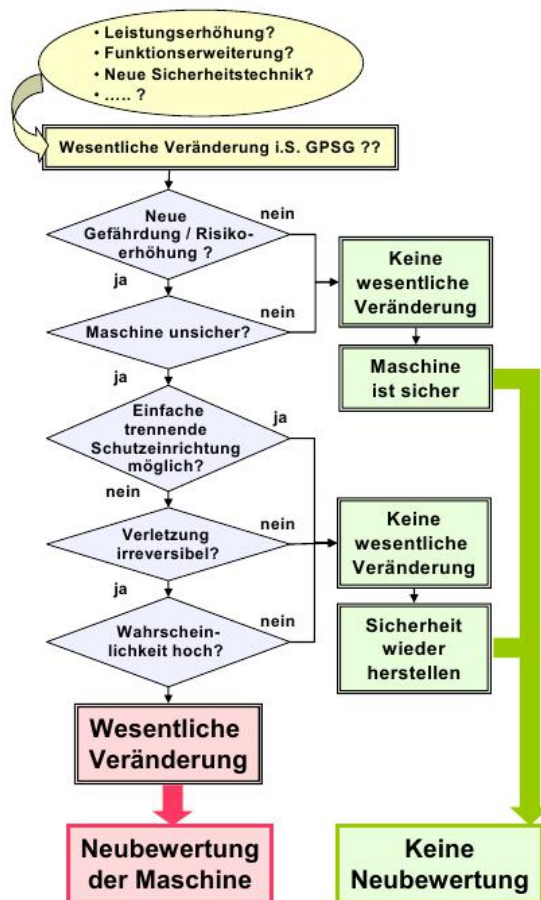


Abbildung 6: Schema zur Bewertung von wesentlichen Änderungen. Siehe [SIE10]

Die Einschätzung, dass eine wesentliche Änderung vorliegt, hat zur unmittelbaren Folge, dass die Maschine oder Anlage neu bewertet werden muss. Dies bedeutet, dass es sich um ein erneutes Inverkehrbringen der geänderten Maschine oder Anlage handelt. Damit fällt die geänderte Maschine unter das ProdSG ebenso wie eine neue Maschine. Es ist laut [SIE10] somit ein Konformitätsnachweis zu führen, um eine neue EG-Konformitätserklärung sowie eine neue CE-Kennzeichnung ausstellen zu können. Aufgrund des hohen zeitlichen und monetären Aufwands ist eine Neubewertung einer Maschine oder Anlage in nahezu allen Fällen nicht erwünscht. In der Regel ist nach [KÖH12] der komplette Neubau einer Anlage, die neu bewertet werden müsste, kostengünstiger und in kürzerer Zeit möglich, als eine bestehende Altanlage nach den aktuell geltenden Vorschriften und Normen umzurüsten und mit einer EG-Konformitätserklärung und einer CE-Kennzeichnung auszustatten.

4.1.2.2 Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung

Im Verfahren der Signifikanzbewertung der CSM-Verordnung muss zunächst eine Prüfung der Sicherheitsrelevanz erfolgen. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Ausführungen in Kapitel 3, wird deutlich, dass anhand der Prüfung der Sicherheitsrelevanz wie auch anhand des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ eine risikobasierte Betrachtung erfolgt. Eine solche risikobasierte Betrachtung wird im Verfahren des ProdSG durch die Prüfung vorgenommen, ob eine neue Gefährdung oder eine Risikoerhöhung vorliegt. Diesbezüglich konnte bereits

festgehalten werden, dass hierfür in der Regel eine Risikoanalyse erforderlich ist. Die Prüfung der Sicherheit der Maschine lässt sich zudem mit dem Kriterium „Folge von Ausfällen“ vergleichen, da anhand dieses Kriteriums neben der erläuterten Betrachtung nach Ansicht der ERA auch untersucht werden soll, inwiefern eine Änderung trotz ihrer Sicherheitsrelevanz durch vorhandene Schutzmaßnahmen weiterhin sicher ist.

Auch sind Aspekte des Kriteriums „Innovation“ implizit im ersten Schritt dieses Verfahrens vertreten, bei dem zu prüfen ist, ob eine neue Gefährdung oder eine Risikoerhöhung vorliegt. Diese neue Gefährdung könnte beispielsweise auf innovative Elemente einer Änderung zurückzuführen sein. Das Kriterium „Innovation“ selbst kommt hingegen in dem Verfahren des ProdSG zur Bewertung der Änderung nicht zum Einsatz. Die folgenden Schritte des Verfahrens zur Prüfung der Wesentlichkeit aus Abbildung 6 sind in der Signifikanzprüfung nicht mehr enthalten, sondern stellen eine vereinfachte Risikobewertung dar, die bereits einer Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens der CSM-Verordnung entsprechen. Somit können auch die weiteren Signifikanzkriterien keinen Aspekten des Verfahrens zur Prüfung der Wesentlichkeit der Änderung von Maschinen zugeordnet werden.

Verfahren CSM-VO	Verfahren Produktsicherheitsgesetz
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	Prüfung, ob neue Gefährdung oder Risikoerhöhung vorliegt (Risikoanalyse)
Folge von Ausfällen	Prüfung, ob neue Gefährdung oder Risikoerhöhung vorliegt (Risikoanalyse)
	Prüfung, ob die Maschine unsicher ist
Innovation	-
Komplexität	-
Überwachung	-
Umkehrbarkeit	-

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Teilbereiche der beiden Verfahren

Die im Gegensatz zur CSM-Verordnung vereinfachte Risikobewertung ist auf den unterschiedlichen Ansatz des ProdSG zurückzuführen. Die CSM hat die funktionale Sicherheit der Teilnehmer am Eisenbahnsystem und der unbeteiligten Gesellschaft zum Ziel, wohingegen das Verfahren des ProdSG den Schutz von Personen im Umgang mit den Maschinen sowie den Schutz von Sachgütern in diesem Zusammenhang betrachtet. Dieser deutlich engere Fokus des Verfahrens des ProdSG ermöglicht eine vereinfachte Risikobewertung innerhalb des Verfahrens zur Bewertung der Wesentlichkeit einer Änderung. Im Gegensatz dazu würde bei der Anwendung des CSM-Verfahrens nach der Bewertung der Signifikanz das harmonisierte Risikomanagementverfahren angewendet werden müssen, um zu klären, ob die Änderung sicher ist oder gegebenenfalls Sicherheitsmaßnahmen zu treffen sind. Die Tabelle 13 gibt eine Übersicht über den hier erfolgten Vergleich der beiden Verfahren.

4.1.2.3 Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens

Zunächst ist herauszustellen, dass bei Änderungen an Maschinen dieselbe Unsicherheit im Umgang mit der Bewertung sowie dem zentralen Begriff der Wesentlichkeit bestanden hat

wie beim CSM-Verfahren mit dem Begriff der signifikanten Änderung. Das für die Klärung des Begriffs „Wesentlichkeit“ von dem BMAS verfasste Interpretationspapier versucht diese Klärung mit Hilfe der Schaffung eines eindeutigen Bewertungsverfahrens herbeizuführen. In Abschnitt 3.3.4 wurde erläutert, dass der vorhandene Interpretationsspielraum bei der Anwendung des CSM-Verfahrens in Kombination mit der fehlenden Definition des Begriffs „Signifikanz“ ein zentraler Aspekt ist, den es zu lösen gilt. Dieses hier beschriebene Verfahren ist also vor diesem Hintergrund als ein Beispiel geeignet, in dem erfolgreich ein unklarer Begriff anhand eines eindeutigen Verfahrens definiert wurde.

Darüber hinaus wurde in Abschnitt 3.3 festgehalten, dass ein weiterer zu klärender Aspekt die bisher fehlende Definition des Begriffs „Änderung“ ist. Da auch das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren Änderungen betrachtet, ist auch hier eine Festlegung erforderlich, worum es sich bei einer Änderung handelt. Diesbezüglich kann man aus dem Diagramm in Abbildung 6 aufgeführte Beispiele von Änderungen entnehmen. Relevante Veränderungen sind demzufolge eine Leistungserhöhung, eine Funktionsänderung oder eine Änderung an der Sicherheitstechnik der Maschine. Da hier ausschließlich technische Änderungen betrachtet werden, ist diese Festlegung des Begriffs „Veränderungen“ mittels einer Aufzählung problemlos möglich. Ein ähnliches Vorgehen ist für die Definition des Begriffs „Änderung“ im CSM-Verfahren deshalb nicht möglich, weil hier eine deutlich größere Anzahl von unterschiedlichen Änderungen bestehen. Die Gegenüberstellung der beiden Verfahren hat im Weiteren gezeigt, dass ein Vergleich der wesentlichen Teile der beiden Verfahren möglich ist. Hier konnte in Tabelle 13 gezeigt werden, dass sich die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie das Kriterium „Folge von Ausfällen“ Teilen des Verfahrens des ProdSG zuordnen lassen. Der zusätzliche Umstand, dass in diesem risikobasierten Verfahren wiederum die Aspekte der Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ keine explizite Rolle bei der Bewertung spielen, ist nach der Betrachtung des „Safety Scannings“ in Abschnitt 4.1.1 ein weiterer Hinweis dafür, dass eine gemeinsame Anwendung von qualitativen und risikobasierten Kriterien innerhalb eines Verfahrens unüblich ist. Bei der Betrachtung des „Safety Scannings“ konnte gezeigt werden, dass sich alle Aspekte der qualitativen Kriterien im Verfahren des „Safety Scannings“ zuordnen lassen, jedoch keines der beiden risikobasierten Kriterien „Prüfung der Sicherheitsrelevanz“ sowie „Folge von Ausfällen“ enthalten ist. Damit stellt das risikobasierte Verfahren für die Bewertung von Änderungen an Maschinen und Anlagen den entgegengesetzten Ansatz zum qualitativen Verfahren des „Safety Scannings“ dar.

4.1.3 Umgang mit Änderungen in der Kerntechnik

Die Kerntechnik ist im Gegensatz zum europäischen Schienenverkehr oder auch zur Luftfahrt nicht durch europäische Behörden überwacht. Die Genehmigung und Aufsicht der kerntechnischen Anlagen in Europa wird von den zuständigen nationalen Behörden wahrgenommen. Bevor die relevanten nationalen Vorschriften sowie das Verfahren zur Bewertung von Änderungen des Bundeslands Baden-Württemberg erläutert werden, sollen zunächst die internationalen Vorschriften und Institutionen dargestellt werden.

Eine Standardisierung von Grundsätzen und Sicherheitsebenen geschieht vor allem durch die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA), welche den Vereinten Nationen unterstellt ist. Diese Dokumente besitzen aber für die nationalen Aufsichtsbehörden keine Verbindlichkeit.

Auch wenn die IAEA keine verbindlichen Richtlinien vorschreiben kann, so übernimmt sie doch eine zentrale Position bei der Definition von grundlegenden Sicherheitszielen wie Sicherheitsgrundsätzen und Sicherheitsniveaus. Einige Länder integrieren die Sicherheitsgrundsätze und die Sicherheitsstandards („Safety Requirements“) mit ihren Anforderungen und teilweise sogar die Leitfäden („Safety Guides“) mit ihren Empfehlungen laut [BER13] direkt in ihr nationales Regelwerk. In dem Dokument [IAE06] beschreibt die IAEA ein grundlegendes Sicherheitsziel sowie zehn Sicherheitsgrundsätze für die kerntechnische Sicherheit, die die Grundlage für alle IAEA Sicherheitsstandards bilden. Das grundlegende Sicherheitsziel ist, Menschen und Umwelt vor den schädlichen Einflüssen der ionisierenden Strahlung zu schützen. Die folgenden drei Maßnahmen sind dafür erforderlich:

- 1.) Die Kontrolle der Strahlung, der Menschen ausgesetzt sind, sowie die Kontrolle des radioaktiven Materials, welches an die Umwelt abgegeben wird.
- 2.) Die Beschränkung der Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, die zu einem Verlust der Kontrolle über den Reaktorkern, die nukleare Kettenreaktion, die radioaktive Quelle oder eine andere Strahlungsquelle führen können.
- 3.) Die Abschwächung der Folgen beim Auftreten eines solchen Ereignisses.

Sicherheit ist vor diesem Hintergrund als der Schutz der Menschen und der Umwelt vor Strahlungsrisiken definiert. Dieses schließt die Sicherheit von Einrichtungen und Handlungen mit ein, die die Gefahr von Strahlungsrisiken bergen können. Die Übersicht über die zehn grundlegenden Sicherheitsgrundsätze der IAEA mit einer jeweils kurzen Beschreibung ist in Anhang 8.2.2.1 enthalten. Gleichzeitig wird hier weiter ausgeführt, wie die IAEA anhand des grundlegenden Sicherheitsziels und der zehn Sicherheitsgrundsätze die speziellen Sicherheitsanforderungen definiert. Darüber hinaus ist in Anhang 8.2.2.2 das Vorgehen beschrieben, dass die IAEA für den Umgang mit Änderungen und Modifikationen beschreibt.

Auf europäischer Ebene sind im Kontext der Formulierung von Anforderungen an die erforderliche Sicherheit von kerntechnischen Anlagen potentieller Beitrittsländer von einer unabhängigen europäischen Organisation (Western European Nuclear Regulators' Association) in [WEN08] sogenannte Referenzlevel festgelegt worden. Diese Referenzlevels sollen von allen Mitgliedsländern der Europäischen Union eingehalten werden. In Teil G dieses Dokuments der WENRA wird die Sicherheitsklassifikation von Anlagenteilen, Systemen und Komponenten beschrieben. Ziel ist es, alle für die Sicherheit relevanten SSC zu identifizieren und nach ihrer Wichtigkeit für die Sicherheit zu klassifizieren. In Teil Q werden darüber hinaus die Änderungen an einem Kernreaktor geregelt. Dabei wird verlangt, dass keine Änderung die Fähigkeit des Reaktors für einen sicheren Betrieb in irgendeiner Form verringert. Gleichzeitig wird vom Betreiber ein Prozess abverlangt, der die Änderungen überwacht und dabei bestimmte Pflichtinhalte enthält. Außerdem werden nationale Regelungen und internationale Vereinbarungen innerhalb der Europäischen Union durch eine EU-Direktive 2009/71/EURATOM ergänzt, die bis Juli 2011 in nationales Recht umzusetzen war. Darüber hinaus ist mit dem Dokument [EKR13] mittlerweile ein Entwurf zur Änderung dieser Richtlinie erschienen, der sich auf den Unfall im Atomkraftwerk Fukushima Daiichi bezieht. Ziel dieses Entwurfs ist neben der Stärkung der Unabhängigkeit der nationalen Aufsichtsbehörden vor allem die Schaffung eines Mechanismus zur Entwicklung von europaweit harmonisierten Sicherheitsbestimmungen. Damit existieren mittlerweile auch

bezüglich der Nutzung der Kernkraft Anstrengungen für eine europäische Vereinheitlichung der Vorschriften.

4.1.3.1 Nationale Vorschriften

Die Genehmigung und Aufsicht der kerntechnischen Anlagen in Deutschland fällt aufgrund des föderalen Systems in die Zuständigkeit der Landesministerien der einzelnen Bundesländer, die der Zweckmäßigkeitssupervision des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unterliegen. Auf nationaler Ebene liegt die Zuständigkeit für die Erarbeitung der gesetzlichen Grundlagen beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, welchem zusätzlich das Bundesamt für Strahlenschutz unterstellt ist. Der Bund und die Bundesländer arbeiten zusammen im Länderausschuss für Atomkernenergie an der einheitlichen Entwicklung von Zielen und Regelwerken. Es existieren nationale Anforderungen, die im Rahmen der Genehmigung und Aufsicht von kerntechnischen Anlagen zu berücksichtigen sind. Eine aktuelle umfangreiche Aktualisierung des deutschen untergesetzlichen kerntechnischen Regelwerks liegt mit dem Dokument [BMU12] seit November 2012 vor. Im Detail können diese Anforderungen von den Landesbehörden unterschiedlich umgesetzt werden.

Grundsätzlich muss jedes Kernkraftwerk in Deutschland eine gültige Betriebsgenehmigung besitzen. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Genehmigung ist die Auflage des Atomgesetzes [BRD13], dass sämtliche Änderungen der Anlage und des Betriebs der zuständigen Behörde anzuzeigen und auf ihre sicherheitstechnische Relevanz zu untersuchen sind. Neben den technischen Einrichtungen und dem Betrieb betrifft dies ausdrücklich auch Änderungen in der Organisation. Wesentliche Änderungen von Anlagen nach § 7 AtG bedürfen der Genehmigung. Die Durchführung genehmigungsfreier Änderungen ist - abhängig von ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung - einer gestuften aufsichtlichen Kontrolle unterworfen. Der Ansatz in der Kerntechnik ist dabei, dass alle wichtigen Einrichtungen eines Kernkraftwerks hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung klassifiziert sind. Mit dieser Einteilung einhergehend sind die Anforderungen und Vorgaben an die Einrichtungen. Auf nationaler Ebene gibt es keine detaillierte Klassifizierung von Anlagenteilen, Systemen und Komponenten. Die Verfahrensregelungen zur Behandlung von Änderungen an der Anlage einschließlich der Klassifizierung von Einrichtungen sind kernkraftwerksspezifisch im Betriebshandbuch geregelt. Das Betriebshandbuch ist Teil der Genehmigung der zuständigen Behörde zum Betrieb des Kernkraftwerks.

Bei einer Klassifizierung sind von höchster sicherheitstechnischer Bedeutung Einrichtungen, deren Versagen zu nicht beherrschbaren Ereignisabläufen führt. In diese Einteilung von höchster sicherheitstechnischer Bedeutung fallen ebenso Einrichtungen, die zur wirksamen und zuverlässigen Störfallbeherrschung erforderlich sind, einschließlich der hierfür notwendigen Hilfs- und Versorgungssysteme. Von abgestufter sicherheitstechnischer Bedeutung sind Einrichtungen, die in die drei folgenden Kategorien fallen:

- Einrichtungen, die zur wirksamen und zuverlässigen Störfallvermeidung erforderlich sind, einschließlich der hierfür notwendigen Hilfs- und Versorgungssysteme

- Einrichtungen zur Einhaltung und Überwachung festgelegter radiologischer Werte, insbesondere durch Aufrechterhaltung der erforderlichen Wirksamkeit von Barrieren und Rückhaltefunktionen
- Einrichtungen zur Durchführung von Aufgaben mit sicherheitstechnischer Bedeutung, die nicht den vorgenannten Klassen zugeordnet sind.

Im Rahmen der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke wird in [BMU12] gefordert, dass in Ergänzung der deterministischen Nachweisführungen probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) durchgeführt werden müssen, um die sicherheitstechnische Relevanz von Änderungen an Maßnahmen, Einrichtungen oder der Betriebsweise der Anlage, bei denen ein nennenswerter Einfluss auf die Ergebnisse der PSA zu erwarten ist, zu bewerten.

4.1.3.2 Die Bewertung von Änderungen im Bundesland Baden-Württemberg

Besonders vorbildlich ist in dieser Hinsicht das Bundesland Baden-Württemberg, welches die Kernkraftwerke in Philippsburg und Neckarwestheim beaufsichtigt. Im Weiteren soll das landeseinheitliche Änderungsverfahren aus [BMU11] dieses Bundeslandes, das bereits seit einiger Zeit deterministische und probabilistische Aspekte zur Bewertung von Änderungen berücksichtigt, exemplarisch dargestellt werden. In diesem Dokument sind die Änderungen in drei Kategorien aufgeteilt. Diese tragen die Bezeichnung Kategorie A, Kategorie B und Kategorie C. Nach dieser Einteilung richtet sich das Verfahren, das für die Anlagenänderung anzuwenden ist. Hierbei besitzt die Kategorie A die höchsten und die Kategorie C die geringsten Anforderungen. Handelt es sich um eine Änderung der Hardware, die eine Unterlagenänderung erforderlich macht, bestimmt die höherwertige Einstufung die Gesamteinstufung der Änderung. Abbildung 7 zeigt das Schema, nach dem Änderungen eingestuft werden. Zunächst muss betrachtet werden, ob die geplante Änderung eine Einrichtung betrifft, die dem Atomgesetz unterliegt. Liegt dieser Fall vor, muss im nächsten Schritt geprüft werden, ob eine Änderung im Rechtssinne vorliegt. Wird auch dies bejaht, ist zu prüfen, ob eine wesentliche Änderung vorliegt. Nach dem Aufsichtshandbuch ist eine Änderung dann als wesentlich im Rechtssinne anzusehen, sofern die Änderung auf das Sicherheitsniveau mehr als nur offensichtlich unerhebliche Auswirkungen haben kann. Liegt nach diesem Kriterium eine wesentliche Änderung vor, fällt die Änderung in Kategorie A. Liegt keine wesentlich Änderung vor, muss überprüft werden, ob die Änderung dem landeseinheitlichen Änderungsverfahren unterliegt. Liegt dieser Fall vor, fällt die Änderung in die Kategorie B oder die Kategorie C. Beispielsweise fallen Änderungen an Sicherheitssystemen oder sicherheitstechnischen Systemen in Kategorie B oder C. Die Entscheidung hinsichtlich Kategorie B oder C hängt davon ab, ob es sich um einen reinen Austausch von Komponenten durch gleichwertige Teile handelt oder eine Abweichung in der Komponentenspezifikation vorliegt. Im ersten Fall würde es sich um eine Änderung der Kategorie C und im zweiten Fall bei der Abweichung in der Komponentenspezifikation um eine Änderung der Kategorie B handeln.

In diesem Verfahren sind somit zwei Fragen von entscheidender Bedeutung für die Einschätzung der Änderung. Zum einen ist dies die Entscheidung, ob eine Änderung im Rechtssinne vorliegt. Um eine Änderung im Rechtssinne handelt es sich dann, wenn die Änderung von den bisherigen Genehmigungen nicht abgedeckt wird. Wird dies verneint, ist

keine weitere Betrachtung der Änderung notwendig. Ebenso von Bedeutung ist die Entscheidung, ob eine wesentliche Änderung vorliegt. Diese Einschätzung entscheidet, ob eine Einstufung in die Kategorie A oder die Kategorien B beziehungsweise C erfolgt.

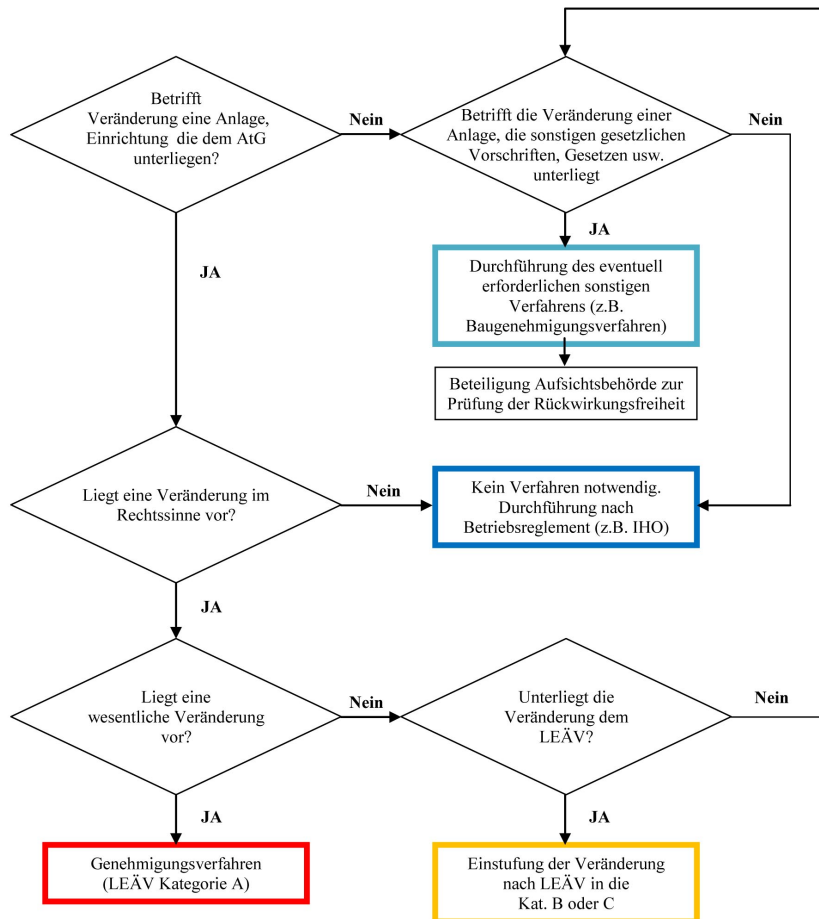


Abbildung 7: Ablaufverfahren zur Einstufung von Änderungen. Siehe [BMU11]

Die Wesentlichkeit der Änderung ist dabei durch den Vergleich des Ist-Zustands mit dem Zustand nach der durchgeführten Änderung zu beurteilen. Zudem ist unerheblich, ob es sich durch die Änderung um eine Verbesserung oder Verminderung des Sicherheitsniveaus handelt. Entscheidend ist nur, ob und in welchem Maße die Änderung Sicherheitsrelevanz besitzt. Die Wahrscheinlichkeit für eine wesentliche Änderung ist hierbei davon abhängig, welchen Bereich sie betrifft. So stellen Änderungen, die Auslegungsmerkmale der Anlage oder die Sicherheitssysteme betreffen, mit hoher Wahrscheinlichkeit wesentliche Änderungen dar und fallen somit in Kategorie A (vgl. [BMU11] S.10). Darüber hinaus ist in Tabelle 14 dargestellt, welche Indikatoren für eine Änderung der Kategorie A, der Kategorie B oder C sprechen. Der in Tabelle 14 in Kategorie A genannte Paragraph 4 Abs. 2 Satz 3 umfasst neben den in der Tabelle erläuterten Änderungen weitere Fälle, die eine Bekanntmachung und Auslegung nach Paragraph 6 des AtVfV notwendig werden lassen. Hinsichtlich der in der Tabelle 14 in Kategorie B genannten Komponenten K1, K2 und K3 kann festgehalten werden, dass wie auf internationaler Ebene auch auf nationaler Ebene keine allgemeingültige Klassifizierung für Komponenten existiert. Die unter Kategorie B genannten Komponentenklassen entsprechen den Spezifikationen des Dokuments [BER97], die bei der

Errichtung der letzten Generation von Kernkraftwerken in Deutschland eingeführt wurden. Diese Spezifikationen wurden in [BMU11] inzwischen auch von den älteren Kernkraftwerken übernommen. Dabei entsprechen K1, K2 und K3 den folgenden von der IAEA vorgeschlagenen Kategorien:

- Kategorie I: Sicherheitsrelevante Systeme und Komponenten
- Kategorie II: betrieblich notwendige Systeme und Komponenten
- Kategorie III: Systeme und Komponenten, die keine radioaktiven Stoffe führen

Kategorie A - wesentliche Änderung Genehmigungsverfahren nach § 7 AtG	Kategorie B - nicht wesentliche Änderung Änderungen mit aufsichtlicher Kontrolle	Kategorie C - nicht wesentliche Änderung Änderungen mit begleitender aufsichtlicher Kontrolle
Änderungen an Sicherheitssystemen, die die Vermutung zulassen, dass die Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme hinsichtlich der zu erfüllenden Sicherheitsfunktionen bei der Beherrschung von Auslegungsstörfällen nicht nur unwesentlich gemindert wird (Tatbestände des § 4 Abs. 2 Satz 3 AtVfV).	Änderungen an Komponenten der Klassen K1 bis K3, bei denen sich durch die Änderungen eine Abweichung in der Komponentenspezifikation ergibt.	Änderungen an Sicherheitssystemen bzw. sicherheitstechnisch wichtigen Systemen, die die Funktion- oder Wirkungsweise nicht betreffen. Hierzu zählen insbesondere Austausch und Ersatz von Komponenten durch gleiche oder gleichartige.
Veränderungen, die Auswirkungen auf die Beherrschung von Auslegungsstörfällen haben können.	Sonstige Änderungen, die Rückwirkung auf die Funktion und Wirkungsweise von Sicherheitssystemen bzw. sicherheitstechnisch wichtigen Systemen haben können.	Änderungen und Ergänzungen an sicherheitstechnischen Unterlagen, die zur Detaillierung bereits festgelegter Vorgehensweisen dienen.
Veränderung von Sicherheitssystemen oder sicherheitstechnisch wichtigen Systemen in einer solchen Form, dass die Funktions- oder Wirkungsweise der Sicherheitssysteme betroffen sind.	Änderungen an der Fertigungsspezifikation oder des Fertigungsprozesses an Sicherheitssystemen oder sicherheitstechnisch wichtigen Systemen.	
	Änderungen an sicherheitstechnischen Unterlagen, die mehr als nur offensichtlich unwesentliche Auswirkungen auf den sicheren Betrieb der Anlage haben können.	

Tabelle 14: Indikatoren für Einstufung der Änderung in Kategorie A, B oder C

Im Folgenden wird erläutert, welches Vorgehen laut [LMU13] je nach Einstufung der Änderung in eine der drei Kategorien erforderlich ist.

Kategorie A (Genehmigungsverfahren): Fällt die Änderung in Kategorie A, ist ein Genehmigungsverfahren nach §7 AtG erforderlich und ein Genehmigungsantrag nach §7 Abs.1 zu stellen. Zudem ist eine probabilistische Bewertung erforderlich, die den Einfluss der Änderung auf die probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) zeigt. Hierbei muss erklärt werden, warum die geplante Änderung keine Auswirkung auf die PSA besitzt.

Kategorie B (Freigabeverfahren): Fällt die Änderung in Kategorie B, muss diese durch die Behörde nach § 19 AtG „Staatliche Aufsicht“ überwacht werden. Der Aufsichtsbehörde ist in diesem Fall eine Änderungsanzeige vorzulegen. Die Umsetzung der Änderung kann erst erfolgen, wenn die Aufsichtsbehörde ihre schriftliche aufsichtliche Stellungnahme abgegeben hat, dass die geplante Änderung aus Sicht der Aufsichtsbehörde als „unbedenklich beziehungsweise nicht genehmigungsbedürftig“ gesehen wird. Die Aufsichtsbehörde sowie die beauftragten Sachverständigen überwachen und begleiten die Durchführungen der geplanten Änderungen. Darüber hinaus ist wie bei einer Änderung der Kategorie A eine probabilistische Bewertung erforderlich, die den Einfluss der Änderung auf die probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) zeigt. Es muss erklärt werden, warum die geplante Änderung keine Auswirkung auf die PSA besitzt.

Kategorie C (Anzeigeverfahren): Fällt die Änderung in Kategorie C, muss diese durch die Behörde nach § 19 AtG „Staatliche Aufsicht“ überwacht werden. Eine Prüfung der

Änderungen der Kategorie C durch einen Sachverständigen nach §20 AtG ist erforderlich. Die Umsetzung der Änderung darf begonnen werden, wenn der Prüfbericht des Gutachters vorliegt und die Aufsichtsbehörde der Durchführung des Vorhabens bis zu ihrem Beginn nicht widerspricht. Es ist jedoch keine probabilistische Bewertung wie in Kategorien A und B erforderlich. Wie bei Änderungen der Kategorie B wird die Durchführung der Änderung von der Aufsichtsbehörde und den beauftragten Sachverständigen begleitet.

Beispiele für Änderungen sind in [BER11] aufgeführt. Es ist grundsätzlich anzumerken, dass auch in den anderen Bundesländern eine Einstufung von Änderungen in eine der drei Kategorien erfolgt; bisher geschieht dies aber überwiegend ohne probabilistische Bewertungen. In Einzelfällen sind vergleichbare Änderungen nicht in allen Bundesländern als zustimmungspflichtig, sondern als freigabepflichtig eingestuft worden.

4.1.3.3 Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens

Das Verfahren, das im Bundesland Baden-Württemberg eingesetzt wird, folgt wie beschrieben dem in Abbildung 7 dargestellten Prozess. Hieraus ist zunächst zu erkennen, dass innerhalb dieses Verfahrens der Begriff der „Veränderung“ eindeutig anhand eines Gesetzes definiert ist. Damit verfügt auch dieses Verfahren wie das Verfahren des ProdSG über eine Definition des Begriffs „Änderung“, der in diesem Fall sogar in der schematischen Darstellung des Verfahrens enthalten ist. Dies bekräftigt noch einmal die Notwendigkeit einer solchen Definition für das CSM-Verfahren.

Darüber hinaus wird innerhalb dieses Verfahrens der Kernenergie die Wesentlichkeit durch die Zuordnung der Veränderung zu einer von drei möglichen Kategorien bestimmt. Die Zuordnung erfolgt anhand von Indikatoren, die in Tabelle 14 dargestellt sind. Eine nicht wesentliche Änderung wird hierbei in die zwei Kategorien B und C unterteilt, die jeweils ein unterschiedliches Vorgehen erforderlich machen. Betrachtet man in dieser Tabelle die Indikatoren für eine wesentlich Änderung, wird deutlich, dass hier solche Veränderungen betroffen sind, die direkten Einfluss auf die Sicherheit der Anlage besitzen. Dies betrifft die Änderungen an Sicherheitssystemen, die die Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen beeinflussen können. Darüber hinaus fallen in diese Kategorie A solche Veränderungen, die die Beherrschung von Auslegungsstörfällen beeinflussen können. Zusätzlich sind hiervon solche Veränderungen betroffen, die die Funktions- oder Wirkungsweise von Sicherheitssystemen betreffen. Hieraus wird ersichtlich, dass die Wesentlichkeit einer Veränderung in der Kernenergie aus einer risikobasierten Betrachtung heraus bestimmt wird. Eine Veränderung ist dann wesentlich, falls Sicherheitssysteme oder Sicherheitsfunktionen beziehungsweise Maßnahmen zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen so verändert werden, dass sich Risiken erhöhen oder neue Gefährdungen entstehen könnten. Der Begriff „Wesentlichkeit“ wird ebenso wie im Verfahren des ProdSG nicht definiert. Vielmehr ist eine solche Definition auch hier nicht erforderlich, da das Bewertungsverfahren keine Interpretationsspielräume in seiner Anwendung lässt. Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Bewertung innerhalb dieses Verfahrens der Kernenergie nicht anhand von Kriterien, sondern anhand von erschöpfend aufgelisteten Arten von Veränderungen geschieht, die den drei Kategorien eindeutig zugeordnet sind. Bei der Zuordnung der betrachteten Veränderungen zu einer der drei Kategorien kommen wiederum keine qualitativen Kriterien zur Anwendung.

4.1.4 Aufwandsbewertung in der Softwareentwicklung nach COCOMO

In den drei vorangegangenen Abschnitten wurden jeweils Verfahren betrachtet, mit denen sicherheitsrelevante Änderungen bewertet werden. Im Unterschied dazu soll in diesem Abschnitt das Constructive Cost Modell (COCOMO) betrachtet werden, dass in der Softwareentwicklung eingesetzt wird, um den Aufwand für die Entwicklung abzuschätzen und damit einen Überblick über die notwendigen Entwicklungskosten sowie die Entwicklungszeit zu gewinnen. Für die Bewertung von Änderungen im Bahnwesen besitzt das COCOMO II-Modell daher Relevanz, weil auch in der modernen Softwareentwicklung komplexe Produkte mit zum Teil neuartigen Funktionen entwickelt werden, die darüber hinaus sicherheitsrelevante Funktionen zu erfüllen haben. Darüber hinaus ist von Änderungen im Bahnwesen in vielen Fällen auch die Software betroffen. So ist in [TÜV13] ausführlich eine Änderung im Bahnwesen beschrieben, bei der infolge einer Schnittstellenänderung ein Sicherheitsprotokoll implementiert werden soll. Im Folgenden soll die Aufwandsbewertung in der Softwareentwicklung dargestellt werden.

Die Aufwandsbewertung mit COCOMO erfolgt anhand mathematischer Funktionen, die spezifische Parameter des Projekts sowie des Unternehmens berücksichtigen und in einen Zusammenhang stellen. Die Aufwandsbewertung in Softwareprojekten geht zurück auf die Auseinandersetzung des Computerherstellers IBM mit den amerikanischen Behörden, die dazu führte, dass laut [LEI10] IBM zu Beginn des Jahres 1970 seine Praxis der Bündelung von Hardware und Software in Teilen aufgab. Dies hatte wiederum zur Folge, dass die Anwender Software frei und unabhängig von der Hardware nachfragen konnten. Dieser Aspekt warf nun erstmals die konkrete Frage nach den Kosten und damit verbundenen Kostenrisiken in der Softwareentwicklung auf, da die Kunden seitens der Softwarefirmen konkrete Angebote über die Preise der angeforderten Leistung verlangten. In der Folge führte die Notwendigkeit, Preise für Softwareleistungen benennen zu können, dazu, dass mehrere Ansätze für die Aufwandsberechnung von Software entstanden. Hierzu sind vor allem die Function-Point-Methode und das COCOMO-Verfahren zu zählen. Die Function-Point-Methode aus [SNE10] geht auf einen Ansatz von IBM zurück und teilt Datenbewegungen einer Applikation in fünf unterschiedliche Typen ein und weist diesen abhängig von ihrer Komplexität Gewichte zu. Aus der Addition dieser Gewichte ergibt sich eine Function-Point-Anzahl, die mittels 14 Einflussfaktoren um 35 Prozent nach oben oder unten angepasst werden kann. Im Gegensatz dazu lässt sich das COCOMO-Verfahren auf Anstrengungen des US-Verteidigungsministeriums zurückführen, den Wettbewerb zwischen Softwareanbietern zu verbessern, um auf diese Weise einer Steigerung der eigenen Softwarekosten entgegenzuwirken. Das ursprüngliche COCOMO-Modell betrachtet die Größe des Projekts, indem es die Anzahl der Anweisungen innerhalb des Softwareprojekts ermittelt, die die Bezeichnung KDSI trägt. Die Untersuchungen von Barry Boehm hatten eine exponentielle Gleichung zur Ermittlung des Aufwands zum Ergebnis, die in Formel (1) beschrieben ist.

$$(1) \quad \textit{Aufwand} = A \times (\textit{KDSI})^{1,05}$$

mit:

$A = 2,4$ als Justierungsfaktor

Der Justierungsfaktor A ist abhängig vom betrachteten Systemtyp. Für eingebettete Echtzeitsysteme kam Boehm beispielsweise zu dem Ergebnis, dass der Justierungsfaktor den Wert 3,6 besitzen sollte. Gleichzeitig ist laut [SNE12] auch der Exponent in diesem Modell vom Systemtyp abhängig. Auf dem grundlegenden Ansatz von COCOMO existieren mittlerweile drei Modelle. COCOMO 81 stellt die erste Version dieses Modells dar und wurde 1981 veröffentlicht. ADA COCOMO wurde 1988 unter anderem von einem der Hauptautoren des COCOMO-Modells Barry Boehm veröffentlicht und beinhaltet Verbesserungen zum ursprünglichen Modell. Diese Verbesserungen wurden nach Angaben der Autoren notwendig, da sich seit der Veröffentlichung des ersten COCOMO-Modells wesentliche Neuerungen im Bereich der Softwareentwicklung ergeben haben, die im Modell ihre Berücksichtigung finden sollten. Gleichzeitig berücksichtigt das 1988 erschienene Modell die Einflüsse des ADA-Prozessmodells und der Programmiersprache Ada auf die Softwareentwicklung, was sich auch im Namen dieses Modells widerspiegelt. Das ADA-Prozessmodell versucht im Wesentlichen den Aufwand für die Softwareentwicklung durch die Steigerung der Produktivität zu reduzieren. Dies soll durch die Verringerung des Exponenten in der Aufwandsberechnung erzielt werden, der den Zusammenhang zwischen der Größe eines Softwareproduktes und dem dafür erforderlichen Entwicklungsaufwand darstellt. Diesen Anstrengungen trägt laut [BOE88] ADA-COCOMO Rechnung und berücksichtigt diese Einflüsse auf den Zusammenhang zwischen Größe und Aufwand für die Entwicklung eines Softwareprojekts, welches auf das ADA-Prozessmodell zurückgreift. Im Jahr 2000 erschien wiederum von Barry Boehm und weiteren Autoren das COCOMO II-Modell. Das COCOMO II-Modell berücksichtigt die Entwicklungen in der Softwareindustrie, die seit der Veröffentlichung des ursprünglichen Modells 1981 stattgefunden haben. Dies betrifft nach [BOE00] vor allem die Anpassung des COCOMO-Modells auf die mittlerweile verwendeten Prozesse und Methoden. Im Weiteren soll das COCOMO II-Modell betrachtet werden.

4.1.4.1 Erläuterung des Modells COCOMO II

Die Grundlage für die Aufwandsberechnung mittels COCOMO II ist der Umfang des Projekts (Size). Dieser Umfang des Projekts geht neben weiteren Faktoren in die Formel (2) für die Berechnung der Personenmonate (PM) ein.

$$(2) \quad PM = A \times Size^E \times \prod_{i=1}^n EM_i \text{ mit } A = 2,94$$

wobei gilt:

$$(3) \quad E = B + 0,01 \times \sum_{j=1}^5 SF_j \text{ mit } B = 0,91$$

Die Faktoren A und B in den beiden oben stehenden Formeln stellen Werte für COCOMO II dar, die anhand von 161 existierenden Projekten in der COCOMO-Datenbank ermittelt wurden. Die Kalibrierung der Faktoren wird in Kapitel 4 von [BOE00] umfangreich erläutert und dient der Verbesserung der Ergebnisse des COCOMO II-Modells. Der Umfang des Projekts (Size) wird anhand der Zeilen des Codes bestimmt, der für das Projekt erforderlich ist. COCOMO II berücksichtigt dabei in der oben stehenden Formel solchen Programmcode, der neu entwickelt werden muss beziehungsweise der übernommen und angepasst wird. Size in der oben stehenden Formel (2) ist dabei die Anzahl von neuem Programmcode in der

Einheit eintausend Zeilen neue Codezeilen, was mit KSLOC abgekürzt wird. Die Einschätzung des Umfangs des Projekts stellt die Grundlage für Aufwandsberechnung mittels COCOMO II dar. In [BOE00] werden in Kapitel 2.2 die unterschiedlichen Aspekte der Abschätzung des Projektumfangs erläutert. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die unterschiedlichen Verfahren zur Abschätzung. Auch wird erläutert, in welcher Weise neuer, geänderter und wiederverwendeter Code in der Schätzung des Projektumfangs berücksichtigt wird.

Der so ermittelte Umfang des Projekts besitzt in der Formel (2) den Exponenten E , dessen Berechnung in Formel (3) dargestellt ist. Dieser Exponent berücksichtigt die Vorbeziehungsweise Nachteile, die aus der unterschiedlichen Größe von Projekten resultieren. Liegt der Exponent E unter 1,0, überwiegen die Vorteile die Nachteile. Eine Verdoppelung des Projektumfangs (Size) führt bei einem Faktor E und ansonsten unveränderten Größen in Formel (2) zu einem Aufwand in Personenmonaten, der weniger als doppelt so groß ist. Ist der Exponent hingegen größer als 1,0 führt eine Verdoppelung des Umfangs des Projekts zu einem mehr als doppelt so hohen Aufwand in Personenmonaten. Bei einem Exponenten von $E=1,0$ steigt der Aufwand in Personenmonaten linear zur Größe des Projekts an. In die Berechnung des Exponenten E gehen, wie Formel (3) zeigt, fünf exponentielle Skalenfaktoren ein. Diese Skalenfaktoren berücksichtigen die Vorteile beziehungsweise Nachteile der Projektgröße. Die fünf Skalenfaktoren verfügen über jeweils sechs verschiedene Kategorien von „sehr niedrig“ bis „extra hoch“. Die Kategorie „hoch“ bedeutet in diesem Zusammenhang für alle Skalenfaktoren, dass sie günstig ausfallen und demnach für einen kleinen Exponenten E sorgen. Beispielsweise ist der Skalenfaktor PREC dann besonders hoch, wenn bereits ähnliche Projekte wie das zu bewertende in der Vergangenheit umgesetzt worden sind. Für die Kategorie „extra hoch“ besitzen demnach die Skalenfaktoren auch jeweils den Wert Null, so dass nach Formel (3) der Exponent E den Wert von $B=0,91$ annehmen würde und ein doppelt so großes Projekt weniger als den doppelt so hohen Aufwand erforderlich machen würde. Auf die Skalenfaktoren wird in Abschnitt 4.1.4.2 ausführlich eingegangen.

Neben dem Faktor A und dem erläuterten Umfang des Projekts sowie dem dazugehörigen Exponenten E gehen in die Berechnung der Formel (2) darüber hinaus die Aufwandsmultiplikatoren ein, die im Modell mit „Effort Multipliers“ bezeichnet sind. Sie sorgen für eine Anpassung des Aufwands in Formel (2). Die Aufwandsmultiplikatoren sind Kostentreibern zugeordnet, welche in zwei Gruppen eingeteilt sind. Dabei handelt es sich zum einen um 17 Post-Architecture-Kostentreiber, die verwendet werden sollen, wenn die Softwarearchitektur bereits entwickelt wurde und somit detaillierte Aussagen bereits möglich sind. Zum anderen gibt es die zweite Gruppe der sieben Early-Design-Kostentreiber, die vor allem in frühen Phasen eines Softwareprojektes zum Einsatz kommen sollen, wenn noch wenig über den Umfang und die weiteren Projekteigenschaften bekannt ist. Die Kostentreiber verfügen dabei über bis zu sieben unterschiedliche Kategorien, denen jeweils ein Aufwandsmultiplikator zugeordnet ist, der in Formel (2) eingesetzt wird. Alle Kostentreiber der beiden Gruppen verfügen dabei über eine Kategorie mit dem Aufwandsmultiplikator des Wertes 1,0. In diesem Fall erfolgt durch den Faktor von 1,0 keine Anpassung. Solche Kategorien, die mit einem Aufwandsmultiplikator von unter beziehungsweise über 1,0 verbunden sind, führen direkt zu einer Verringerung beziehungsweise Erhöhung des Aufwands in Formel (2). Ein Aufwandsmultiplikator von 1,1 entspricht damit einer Erhöhung

des Aufwands um zehn Prozentpunkte. Die Einflussfaktoren im COCOMO II-Modell werden im folgenden Abschnitt erläutert. Eine Betrachtung der Formel (2) macht darüber hinaus deutlich, dass sich diese über Logarithmieren in ein Score-Modell transformieren lässt. Dieser Aspekt ist in Anhang 8.2.3.1 ausführlich erläutert.

4.1.4.2 Die Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells

Die Skalenfaktoren gehen in die Formel (3) zur Berechnung des Exponenten E ein. Wie bereits beschrieben dienen sie dazu, die spezifischen Vor- und Nachteile zu bestimmen und im Exponenten zu berücksichtigen, die sich aus dem Umfang des Projekts ergeben. Die Tabelle 15 nennt die fünf verschiedenen Skalenfaktoren und erläutert diese.

Skalenfaktor	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Precedentedness	PREC	Dieser Skalenfaktor betrachtet, inwieweit das zu bewertende Objekt bereits durchgeführten Projekten ähnelt.	0,00 - 6,20	1,33
Developement Flexibility	FLEX	Dieser Skalenfaktor betrachtet, welche Randbedingungen hinsichtlich der Entwicklung erfüllt werden müssen.	0,00 - 5,07	1,26
Architecture / Risk resolution	RESL	Dieser Skalenfaktor betrachtet das Risikomanagement und den Umgang mit sicherheitskritischen Aufgaben.	0,00 - 7,07	1,39
Team Cohesion	TEAM	Dieser Skalenfaktor berücksichtigt die Schwierigkeiten, die bei der Koordination aller Prozessbeteiligten entstehen und ihre Ursachen u.a. in unterschiedlichen Zielen oder Kenntnisständen haben können.	0,00 - 5,48	1,29
Process Maturity	PMAT	Dieser Skalenfaktor betrachtet den Reifegrad wesentlicher Teile des Projekts hinsichtlich der Projekt- und Qualitätssteuerung.	0,00 - 7,80	1,43

Tabelle 15: Übersicht über die Skalenfaktoren des COCOMO II-Modells

Die in der Tabelle dargestellte Wertespanne gibt an, welchen Faktor den Exponenten mit der Kategorie „sehr niedrig“ des jeweiligen Skalenfaktors von dem Exponenten unterscheidet, bei dem derselbe Skalenfaktor die Kategorie „extra hoch“ besitzt und alle anderen Skalenfaktoren den Wert Null besitzen. Damit gibt dieser Wert die potentielle Auswirkung dieses Skalenfaktors auf die Formel (3) zur Berechnung des Exponenten an.

Neben den Skalenfaktoren existieren die Post-Architecture-Kostentreiber. Dieses Modell der Kostentreiber ist besonders detailliert, da es zum Einsatz kommt, wenn die Architektur der Software und ihr Lebenszyklus bereits entwickelt ist und somit detaillierte Aussagen möglich sind. Die 17 Post-Architecture-Kostentreiber besitzen wie die zuvor erläuterten Skalenfaktoren unterschiedliche Einstufungen, denen jeweils Aufwandsmultiplikatoren zugeordnet sind. Die 17 Kostentreiber sind dabei in vier Gruppen unterteilt. Die Produktfaktoren berücksichtigen Einflüsse auf den Aufwand, der sich auf Besonderheiten des zu entwickelnden Softwareprodukts zurückführen lässt. Es existieren fünf Produktfaktoren, die in Tabelle 16 dargestellt sind.

Neben den beispielhaft erläuterten Kostentreibern im Bereich der Produktfaktoren existieren die weiteren drei Bereiche der Plattformfaktoren, der Personalfaktoren und der Projektfaktoren, denen die weiteren Kostentreiber zugeordnet sind. Diese drei Bereiche mit ihren Kostentreibern sind in Anhang 8.2.3.2 näher erläutert. Die potentielle Wertespanne, die auch in Tabelle 16 dargestellt ist, gibt für die 17 Kostentreiber jeweils an, welcher Faktor zwischen dem höchsten und dem geringsten Aufwandsmultiplikator liegt. Somit ermöglicht diese Wertespanne eine Aussage darüber, welchen maximalen Einfluss der betreffende Kostentreiber auf die Formel (2) und damit auf den Projektaufwand hat. Die Berechnung dieser Wertespanne erfolgt durch Division des größten durch den kleinsten Aufwandsmultiplikator. Diese Berechnung unterscheidet sich deswegen von der Berechnung

der Wertespanne der Skalenfaktoren, da die Aufwandsmultiplikatoren aufgrund des Produktzeichens direkt in die Formel (2) eingehen und sie den mit dieser Formel zu berechnenden Aufwandswert proportional zu ihrem Anstieg erhöhen.

Kostentreiber	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Required Software Reliability	RELY	Dieser Kostentreiber betrachtet den Zeitumfang, in welcher die Software fehlerfrei arbeiten muss und welche potentiellen Auswirkungen dabei Fehler haben können.	0,82 - 1,26	1,54
Database Size	DATA	Dieser Kostentreiber betrachtet den Einfluss, den große Testdatenbanken auf die Softwareentwicklung besitzen. Damit betrachtet dieser Kostentreiber den erforderlichen Aufwand für die Zusammenstellung und Pflege der Testdatenbank.	0,90 - 1,28	1,42
Product Complexity	CPLX	Dieser Kostentreiber betrachtet die Komplexität des Softwareprodukts und unterteilt die Komplexität in die fünf Bereiche Kontrolloperationen, Berechnungsoperationen, gerätabhängige Operationen, Operationen des Datenmanagements sowie Operationen zum Managements des User-Interfaces.	0,73 - 1,74	2,38
Development for Reusability	RUSE	Dieser Kostentreiber betrachtet den zusätzlichen Aufwand, der erforderlich ist, wenn für das Projekt zu entwickelnde Softwarekomponenten für zukünftige Projekte wiederverwendbar sein sollen. Der zusätzliche Aufwand resultiert aus höheren Anforderungen an das Design, umfangreichere Dokumentation sowie höhere Testanforderungen.	0,95 - 1,24	1,31
Documentation Match to Life-Cycle Needs	DOCU	Dieser Kostentreiber betrachtet, inwieweit die vorhandene Dokumentation die Anforderungen erfüllt, die während des Lebenszyklus des Produkts an die Dokumentation bestehen.	0,81 - 1,23	1,52

Tabelle 16: Kostentreiber im Bereich der Produktfaktoren

Neben den Post-Architecture-Kostentreibern existiert ein Modell mit sogenannten Early-Design-Kostentreibern, die die ursprünglich 17 zu sieben Kostentreibern zusammenfassen. Die Early-Design-Kostentreiber sind für die Bewertung eines Projekts entwickelt worden, welches sich noch in der anfänglichen Phase der Entwicklung befindet und daher über viele Eigenschaften des Projekts noch relativ wenig bekannt ist. Die Early-Design-Kostentreiber sind in Anhang 8.2.3.3 näher beschrieben. Zusätzlich ist hier beispielhaft für den Early-Design-Kostentreiber „Facilities“ dargestellt, wie dieser Kostentreiber aus der Zusammenfassung von drei Post-Architecture-Kostentreibern entstanden ist.

4.1.4.3 Vergleich des Verfahrens mit den Kriterien der CSM-Verordnung

Vergleicht man nun das COCOMO II-Modell und seine Einflussfaktoren mit den Kriterien der CSM-Verordnung, fällt auf, dass aufgrund der Besonderheiten der Softwareentwicklung wesentliche Unterschiede zu dem Verfahren der Änderungsbewertung im Bahnwesen bestehen, die in Kapitel 3 erläutert wurden. Der Hauptunterschied ist neben den unterschiedlichen Betrachtungsfeldern auch darin zu sehen, dass mit Hilfe des COCOMO II-Modells eine Betrachtung des Aufwands, aber nicht eine solche von sicherheitsrelevanten Risiken erfolgt. Vielmehr werden durch die Aufwandsbetrachtung solche Risiken beleuchtet, die sich auf den Aufwand und die Kosten eines Softwareprojekts auswirken können und sich somit als Projektrisiken bezeichnen lassen. Dies erklärt, warum sowohl die Prüfung der Sicherheitsrelevanz als auch das risikobasierte Kriterium „Folge von Ausfällen“ im COCOMO II-Modell nicht vertreten sind. Jedoch lassen sich die qualitativen Kriterien zum Teil den unterschiedlichen Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells zuordnen. Hierbei können die Aspekte des Kriteriums „Komplexität“ dem Kostentreiber „Product Complexity“ zugeordnet werden. Dieser Kostentreiber „Product Complexity“ betrachtet die Auswirkungen der Produktkomplexität auf den Projektaufwand. Daneben sind bei der Entwicklung komplexer Softwareprodukte die Fähigkeiten der Programmierer und Entwickler von

entscheidender Bedeutung, so dass die beiden Kostentreiber „Analyst Capability“ und „Programmer Capability“ des Bereichs der Personalfaktoren aus Anhang 8.2.3.2 von Aspekten der Komplexität betroffen sind.

Eine weitere Betrachtung des Bereichs der Personalfaktoren verdeutlicht, dass die „Personnel Continuity“, die „Application Experience“, die „Platform Experience“ sowie die „Language and Tool Experience“ Aspekte des Kriteriums „Innovation“ betreffen. Diese vier Kostentreiber untersuchen, inwieweit Erfahrungen hinsichtlich des zu entwickelnden Projekts bestehen und inwieweit diese Erfahrung während des gesamten Projekts zur Verfügung steht. Zudem betrachtet der Skalenfaktor „Precedentedness“ im COCOMO II-Modell, inwieweit das betrachtete Projekt bereits durchgeführten Projekten ähnelt oder ob es sich für die Organisation um eine vollkommen neue Aufgabe handelt. Diese Kostentreiber im Bereich der Personalfaktoren sowie der Kostentreiber „Precedentedness“ untersuchen somit die Auswirkungen auf den Projektaufwand, die sich Aspekten des Kriteriums „Innovation“ zuordnen lassen.

Die Erläuterung des Skalenfaktors „Architecture / Risk Resolution“ in Tabelle 15 macht deutlich, dass hier die Auswirkungen von Aspekten betrachtet werden, die sich zum Teil dem Kriterium „Überwachung“ zuordnen lassen. Zudem zeigt die Erläuterungen zu den möglichen Einstufungen des Skalenfaktors „Architecture / Risk Resolution“, dass diese davon abhängig ist, in welchem Maße das Risikomanagement sicherheitskritische Aspekte erkennt. Jedoch betrachtet dieser Skalenfaktor weitere Aspekte wie den Prozentsatz an hochqualifizierten Softwarearchitekten und Softwaretools, die für die Entwicklung des Projekts zur Verfügung stehen, so dass der Betrachtungsrahmen über den des Kriteriums „Überwachung“ hinausgeht. Bezüglich des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ ist festzuhalten, dass anhand des COCOMO II-Modells keine Änderungen untersucht werden, sondern der Aufwand innerhalb der Softwareentwicklung. Gleichzeitig sind Softwareprojekte in der Regel umzukehren. Aus diesen beiden Gründen besitzt eine Betrachtung, ob ein Softwareprojekt rückgängig zu machen ist, innerhalb des COCOMO II-Modells keinerlei Relevanz. Folglich lassen sich für die Aspekte des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ keine unmittelbar betroffenen Einflussfaktoren ermitteln. Die Tabelle 17 enthält die Übersicht über den Vergleich der CSM-Kriterien mit den Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells.

CSM-Kriterien	Einflussfaktoren COCOMO II	Potentielle Wertespanne	Zusammengefasste pot. Wertespanne
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	–	–	–
Folge von Ausfällen	–	–	–
Innovation	Skalenfaktor "Precedentedness"	1,33	6,39
	Kostentreiber "Personnel Continuity"	1,59	
	Kostentreiber "Application Experience"	1,51	
	Kostentreiber "Platform Experience"	1,40	
	Kostentreiber "Language and Tool Experience"	1,43	
Komplexität	Kostentreiber "Product Complexity"	2,38	8,38
	Kostentreiber "Analyst Capability"	2,00	
	Kostentreiber "Programmer Capability"	1,76	
Überwachung	Skalenfaktor "Architecture / Risk Resolution"	1,39	1,39
Umkehrbarkeit	–	–	–

Tabelle 17: Vergleich der CSM-Kriterien mit den Einflussfaktoren aus COCOMO II

Der Vergleich macht deutlich, dass den Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ die größte Anzahl an Einflussfaktoren zugeordnet werden können. Gleichzeitig lässt die letzte Spalte der Tabelle erkennen, dass die Multiplikation der potentiellen Wertespannen der einzelnen Einflussfaktoren auch die größten zusammengefassten Wertespannen für die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ ergibt. Für die Komplexität bedeutet dies: wenn ein Softwareprodukt durch eine besonders hohe Komplexität die höchste Einstufung im Kostentreiber „Product Complexity“ besitzt und die Fähigkeiten der Analysten und Programmierer für dieses Projekt sehr gering sind, ist der letztendliche Projektaufwand um den Faktor 8,38 höher, als wenn diese drei Kostentreiber die jeweils günstigste Einstufung besitzen würden.

4.1.4.4 Erkenntnisse aus der Betrachtung dieses Verfahrens

Im Gegensatz zu den anderen drei vorgestellten Verfahren in Abschnitt 4.1 stellt das COCOMO II-Modell kein Verfahren dar, das zur Bewertung von sicherheitsrelevanten Änderungen entwickelt worden ist. Die Aufgabe dieses Modells liegt in der Voraussage des Aufwands für die Softwareentwicklung. Das dafür in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellte Modell nutzt unterschiedliche Faktoren, um den Projektaufwand zu bestimmen. Neben dem Umfang des Projekts als Grundlage der Berechnung sind dies mehrere Faktoren, die von Eigenschaften des Projekts abgeleitet sind. Diese Faktoren, die in die Berechnung der Formeln (2) und (3) eingehen, sind die in Abschnitt 4.1.4.2 erläuterten Skalenfaktoren und Kostentreiber. Die Gewichtung der Skalenfaktoren und Kostentreiber im COCOMO II-Modell setzt sich aus zwei Aspekten zusammen. Zum einen wurde anhand der Einschätzung mehrerer Experten auf dem Gebiet der Aufwandsberechnung in Softwareprojekten eine A-priori-Gewichtung vorgenommen. Zusätzlich wurden 161 Softwareprojekte in einer Datenbank gesammelt. Auf Grundlage dieser Daten wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, die die Stärke des Zusammenhangs der Eingangsgrößen der Formeln (2) sowie (3) zum Projektaufwand in Personenmonaten untersucht. Anhand der Experteneinschätzung sowie der Regressionsanalyse auf Grundlage der Daten von 161 Projekten wurden die Werte in [BOE00] für die unterschiedlichen Kategorien der Skalenfaktoren und Kostentreiber ermittelt, die im COCOMO II Modell zum Einsatz kommen.

Die Regressionsanalyse liefert darüber hinaus einen t-Wert, der sich als Aussage über die statistische Signifikanz deuten lässt. Je größer dieser t-Wert ist, desto aussagekräftiger ist die dazugehörige Variable. Besonders aussagekräftig hinsichtlich des Aufwands ist demnach vor allem die Größe des Projekts. Von den Skalenfaktoren besitzt Precedentedness (PREC) den höchsten t-Wert. Bei den Kostentreibern besitzt Complexity (CPLX) den höchsten t-Wert und ist damit für die 161 betrachteten Projekte am aussagekräftigsten hinsichtlich der Vorhersage des Aufwands.

Der Vergleich der CSM-Kriterien mit den Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells in Abschnitt 4.1.4.3 hat gezeigt, dass sich die beiden risikobasierten Kriterien „Prüfung der Sicherheitsrelevanz“ sowie „Folge von Ausfällen“ nicht in diesem Modell wiederfinden lassen. Jedoch konnte gezeigt werden, welche Einflussfaktoren sich den qualitativen Kriterien zuordnen lassen. Eine Ausnahme stellt hier das Kriterium „Umkehrbarkeit“ dar, das nicht wie die anderen qualitativen Kriterien unmittelbar im Modell vertreten ist. Für die anderen drei

qualitativen Kriterien hat der Vergleich ergeben, dass die Einflussfaktoren der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ einerseits die größte Anzahl und andererseits auch die größte zusammengefasste Wertespanne besitzen. Das Kriterium „Überwachung“ besitzt im Vergleich dazu nur einen geringen potentiellen Einfluss auf die Aufwandsbewertung. Bei dem Vergleich der CSM-Kriterien und der Einflussfaktoren im COCOMO II-Modell konnte hingegen auch festgestellt werden, dass mehrere Probleme für die Vergleichbarkeit bestehen. Wie bereits erläutert, sind nur Aspekte der qualitativen Kriterien im COCOMO II-Modell enthalten, so dass eine Ableitung der Gewichtung zwischen risikobasierten und qualitativen Kriterien anhand dieses Vergleichs nicht möglich wäre. Dies stellt jedoch einen der Hauptaspekte dar, die in Abschnitt 3.3.4 beschrieben wurden. Gleichzeitig ist das Kriterium „Umkehrbarkeit“ im Modell nicht vertreten. In Tabelle 17 wurde für die drei qualitativen Kriterien eine zusammengefasste potentielle Wertespanne ermittelt, die erkennen lässt, dass die Aspekte der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ einen deutlich größeren Einfluss auf den Projektaufwand besitzen als die Aspekte des Kriteriums „Überwachung“. Eine genaue Gewichtung lässt sich hieraus jedoch nicht ableiten, da eine zweifelsfreie Zuordnung der Kriterien zu den Einflussgrößen nicht ohne Weiteres möglich ist. Beispielsweise deckt der Kostentreiber „Architecture / Risk Resolution“ einen größeren Bereich als das Kriterium „Überwachung“ ab. Ebenso lassen die Erläuterungen zu den Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells erkennen, dass auch für die weiteren CSM-Kriterien Einschränkungen beim Vergleich mit den Einflussfaktoren zu machen sind, die sich auf die unterschiedlichen Betrachtungsfelder des COCOMO II-Modells und der CSM-Kriterien zurückführen lassen. Somit können ausschließlich qualitative Aussagen aus dem Vergleich der beiden Verfahren gezogen werden.

In Anhang 8.2.3.1 kann dargestellt werden, dass sich die Formel zur Berechnung des Projektaufwands mittels Logarithmieren in ein Score-Modell transformieren lässt. Zudem wurde innerhalb dieses Abschnitts erläutert, wie für das COCOMO II-Modell eine Untersuchung der Einflussfaktoren anhand einer Regressionsanalyse vorgenommen wurde. Somit könnte unabhängig von dem Vergleich der CSM-Kriterien mit den Einflussfaktoren anhand eines Verfahren der multivariaten Statistik der Einfluss der Kriterien auf die Signifikanz untersucht und die Relevanz der Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ überprüft werden. Die Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass zuverlässige Daten zu einer ausreichend großen Zahl an Änderungen vorliegen, die eine Einschätzung der Signifikanz sowie eine Bewertung der weiteren Kriterien enthalten.

4.1.5 Erkenntnisse aus der Betrachtung der Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen

In diesem Abschnitt 4.1.1 wurden vier Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen vor dem Hintergrund der Aspekte untersucht, die in Abschnitt 3.3 erläutert wurden. Die Betrachtung der Verfahren des „Safety Scannings“, des Verfahrens des ProdSG sowie des Verfahrens aus der Kernenergie, die jeweils Änderungen bewerten, hat dabei die Erkenntnis geliefert, dass jedes dieser Verfahren entweder einen qualitativen Ansatz wie das „Safety Scanning“ oder einen risikobasierten Ansatz wie die anderen beiden Verfahren verfolgt. Ein Nebeneinander von qualitativen und risikobasierten Aspekten ist in keinem dieser drei Verfahren zu finden. Die Untersuchung des Verfahrens des ProdSG hat zudem gezeigt, dass für eine solche rein

risikobasierte Betrachtung gegebenenfalls die Durchführung einer Risikoanalyse erforderlich wird. Da das Verfahren zur Signifikanzbewertung jedoch über die Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens entscheiden soll, ist die Vorwegnahme einer Risikoanalyse nicht zweckmäßig. Dieser Aspekt wird bei der Betrachtung der weiteren Verfahren in Abschnitt 4.2 zu berücksichtigen sein.

Gleichzeitig ist aus der näheren Untersuchung der drei Verfahren, die sicherheitsrelevante Änderungen bewerten, deutlich geworden, dass allein das „Safety Scanning“ bei der Bewertung der Änderungen Aspekte berücksichtigt, die die Durchführung der Änderung und die Erfahrung mit dieser Durchführung betrachten. Die rein risikobasierten Verfahren des ProdSG und der Kernenergie bewerten diese Aspekte hingegen nicht. Inwiefern diese Aspekte von den in Abschnitt 4.2 betrachteten Verfahren berücksichtigt werden, ist somit auch zu untersuchen. Darüber hinaus verfügen die beiden Verfahren des ProdSG und der Kernenergie jeweils über ein Verfahren, das eine eindeutig definierte Anwendung besitzt und dem Anwender keinerlei Interpretationsspielräume bietet. Dies ist insofern erforderlich, da beide Verfahren jeweils Änderungen hinsichtlich des undefinierten Begriffs der Wesentlichkeit bewerten. Der Begriff „Wesentlichkeit“ nimmt innerhalb dieser beiden Verfahren dieselbe Bedeutung wie der Begriff „Signifikanz“ im CSM-Verfahren ein. Da eine Änderung dann als wesentlich gilt, wenn sie durch eine Anwendung des Verfahrens als wesentlich eingestuft worden ist, ist eine Definition des Begriffs „Wesentlichkeit“ innerhalb dieser Verfahren nicht erforderlich. Zudem konnte gezeigt werden, dass beide Verfahren über eine eindeutige Definition der Änderung verfügen. Damit ist zweifelsfrei festgehalten, welche Änderungen mit dem jeweiligen Verfahren zu untersuchen sind. Zusätzlich hat die Betrachtung des „Safety Scannings“ gezeigt, dass mit diesem Verfahren der Einfluss der Aspekte untersucht werden kann, den die Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, und „Überwachung“ auf unterschiedliche Änderungen besitzen. Das Kriterium „Umkehrbarkeit“ ist hingegen im „Safety Scanning“ ausschließlich als Gewichtung der einzelnen Fundamentals vertreten, womit ausschließlich über den Einfluss der drei weiteren qualitativen Kriterien eine direkte Aussage zu treffen ist. Eine Gewichtung aller fünf oder zumindest der vier qualitativen Kriterien ist daher mit Hilfe des „Safety Scannings“ nicht zu ermitteln.

Bezüglich des COCOMO II-Modells wurde gezeigt, dass auch hier ausschließlich die qualitativen Kriterien „Innovation“, „Komplexität“ und „Überwachung“ im Modell zu finden sind. Aspekte des qualitativen Kriteriums „Umkehrbarkeit“ sowie Aspekte des risikobasierten Kriteriums „Folge von Ausfällen“ lassen sich in diesem Modell nicht finden. Somit kann auch anhand des COCOMO II-Modells keine Gewichtung der CSM-Kriterien ermittelt werden. Vielmehr sind ausschließlich rein qualitative Aussagen möglich. Es konnte festgehalten werden, dass die Aspekte der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ einen deutlich größeren potentiellen Einfluss auf den Projektaufwand besitzen als die Aspekte des Kriteriums „Überwachung“. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Aussagen für den Projektaufwand im Bereich der Softwareentwicklung gelten. Des Weiteren konnte aber gezeigt werden, dass das COCOMO II-Modell mit seiner Herleitung der Einflussfaktoren durch die Regressionsanalyse einen Ansatz liefert, um den Zusammenhang zwischen der Signifikanz und den Kriterien im CSM-Verfahren zu überprüfen. Auch gibt diese Erkenntnis einen Hinweis darauf, dass mit Hilfe von weiteren statistischen Methoden die Gewichtung der Kriterien untereinander ermittelt werden könnte. Gleichzeitig könnten solche statistischen

Methoden gegebenenfalls neben der Bestimmung der Gewichtung auch bei der Ermittlung des Schwellenwerts hilfreich sein, ab wann eine Änderung anhand der Bewertung der Kriterien signifikant ist. Darüber hinaus haben die Untersuchung des Verfahrens des „Safety Scannings“ und die Anwendung dieses Verfahrens auf beispielhafte Änderungen aus dem Eisenbahnwesen unter anderem in [PET09] und [MIL11] gezeigt, dass auch eine rein qualitative Bewertung der Signifikanz von Änderungen möglich ist.

4.2 Neue Ansätze und Verfahren im Eisenbahnwesen

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 erläuterten Verordnungen wurden von den nationalen Eisenbahnbehörden sowie den Bahn- und Infrastrukturbetreibern erhebliche Anstrengungen unternommen, das vorliegende Verfahren zur Bewertung von Änderungen zu verstehen und darüber hinaus in der Lage zu sein, Änderungen rechtzeitig zum Inkrafttreten der CSM-Verordnung Nr.352/2009 hinsichtlich ihrer Signifikanz bewerten zu können. Aus diesen Anstrengungen sind mehrere Ansätze und Verfahren hervorgegangen, die in diesem Abschnitt untersucht werden sollen. Die Betrachtung soll hierbei wie in Kapitel 4.1 vor dem Hintergrund der Aspekte geschehen, die in Abschnitt 3.3 erläutert wurden. Die Verfahren und Ansätze innerhalb dieses Abschnitts werden dabei in der Reihenfolge ihres Erscheinens untersucht.

4.2.1 Verfahren der ÖBB zur Bewertung von Änderungen

Die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) haben anhand der geltenden Vorschriften ihr eigenes Verfahren für die Signifikanzbewertung entworfen, welches im Januar 2010 erstmals beschrieben wurde. Bei der ÖBB wird das gesamte Verfahren als Signifikanzprüfung beschrieben und folgt dabei dem Vorgehen, das in [KUN10] und [KUN11] erläutert sowie in Abbildung 8 dargestellt ist.

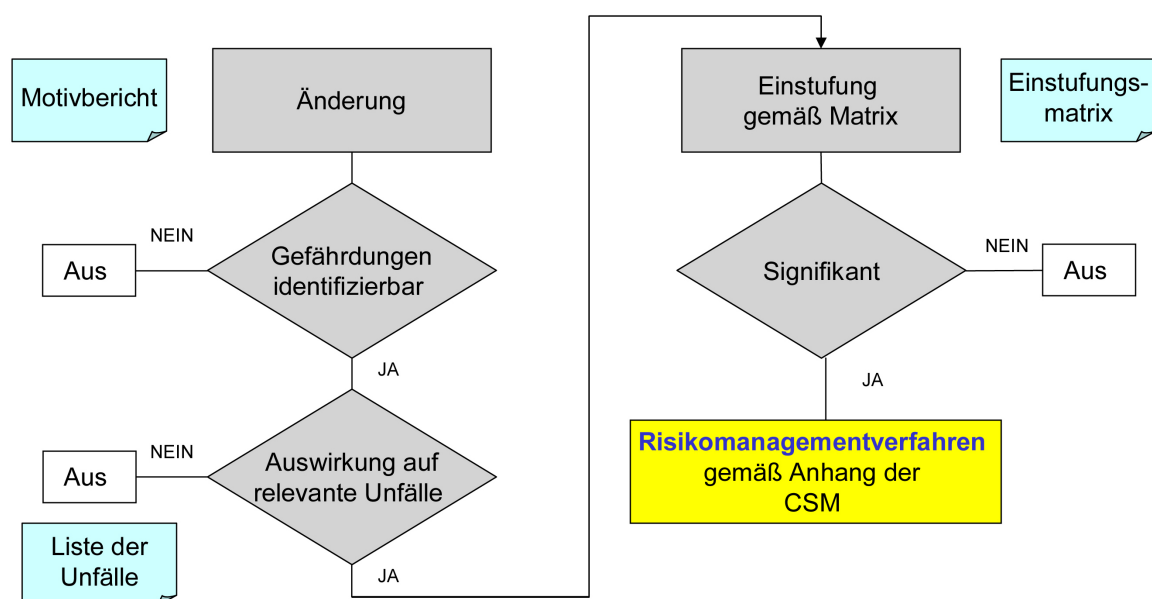


Abbildung 8: Ablaufdiagramm Signifikanzprüfung. Siehe [KUN11]

Die beabsichtigte Änderung wird hierbei hinsichtlich der möglichen Gefährdungen untersucht, die hervorgerufen werden können. Im Prozess ist dabei zunächst entscheidend, ob solche Gefährdungen identifiziert werden können. In diesem Fall muss im folgenden Schritt geklärt werden, ob diese identifizierten Gefährdungen Auswirkung auf relevante Unfälle haben können. Hierzu hat die ÖBB eine Liste von Unfällen aufgestellt, auf die während der Bewertung zurückgegriffen werden kann. Folgende Unfälle sind dabei in [KUN10] als relevant beschrieben:

- Verletzung oder Tötungen von Reisenden und Personen im Zusammenhang mit der Betriebsabwicklung
- Brand und Explosionen (Infrastruktur als Verursacher, Infrastruktur als Risikoreduzierer)
- Unfälle bei Zugfahrten inkl. Schwerkleinwagen (SKL)
- Unfälle bei Verschubfahrten inkl. Nebenfahrten (ausgenommen SKL)
- Unfälle im Zusammenhang mit Gefahrgut

Diese Liste relevanter Unfälle entspricht dabei nicht den Unfallkategorien, die in den Begriffsbestimmungen der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie unter dem Begriff „Unfall“ beschrieben sind. Eine Erläuterung für die Wahl dieser abweichenden Kategorien liegt nicht vor. Falls Gefährdungen identifiziert und den relevanten Unfällen zugeordnet werden können, muss im folgenden Schritt anhand einer Einstufungsmatrix entschieden werden, ob die Änderung letztendlich signifikant ist. Die Einstufungsmatrix besitzt einen ähnlichen Aufbau wie die Darstellung der Gefährdungsszenarien des Verfahrens der Schweizer Bundesbahnen (SBB), das in Abschnitt 4.2.2 erläutert ist. Auf der Y-Achse ist die Häufigkeit der Unfälle aufgetragen, die von der Änderung betroffen sind. Auf der X-Achse befindet sich die Unfallschwere. Die Gefahrenklassen entsprechen der Einteilung der EN 50126. Beide Kriterien verfügen jeweils über vier Kategorien, so dass die Einstufungsmatrix 16 Felder besitzt. In der Risikomatrix ist wiederum eine Risikoakzeptanz hinterlegt, die eine Verbindung zwischen der Häufigkeit und der Schwere eines Unfalls sowie der Signifikanz der Änderung herstellt. Der Unterschied zum Verfahren des britischen „Office of Rail Regulation“ (ORR) aus Abschnitt 4.2.3 besteht darin, dass in der Einstufungsmatrix der Y-Achse die Häufigkeit der Unfälle zugeordnet ist und nicht wie im ORR-Verfahren die „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“. Die Einstufungsmatrix ist in Abbildung 9 dargestellt. Den vier Kategorien der Unfallschwere sind zusätzlich monetäre Schadenswerte zugeordnet. Liegt ein von der Änderung betroffener relevanter Unfall anhand der Einschätzung im grünen Bereich 1 ist die Änderung nicht signifikant. Liegt ein solcher Unfall hingegen im roten Bereich 3 wird die Änderung als signifikant betrachtet und es ist eine Anwendung des CSM-Risikomanagementverfahrens erforderlich. Für den Übergangsbereich 2 sollen die Unternehmen jeweils ein geeignetes Verfahren entwickeln, um zu bestimmen, ob die Änderung signifikant oder nicht signifikant ist. Aus dem Ablaufdiagramm ist ersichtlich, dass bei der Signifikanzprüfung der ÖBB die CSM-Kriterien nicht unmittelbar zur Anwendung kommen. Dieses Verfahren orientiert sich somit nicht wie beispielsweise das Verfahren der ORR an den ursprünglichen Kriterien, auch wenn die Einstufungsmatrix in beiden Verfahren sehr ähnlich aufgebaut ist. Die Verbindung zum Vorschlag der SBB aus Abschnitt 4.2.2 liegt darin, dass auch hier eine Betrachtung von Gefährdungen durchgeführt

wird. Zudem erfolgt in diesem Verfahren eine Untersuchung, ob relevante Unfälle von der Änderung betroffen sind. Dies lässt sich insofern mit der Zuordnung der Änderung zu den Gefährdungsszenarien innerhalb des SBB-Verfahrens vergleichen, da auch in diesem Verfahren nur dann eine Signifikanz vorliegt, wenn sich die betrachtete Änderung mindestens einem der Gefährdungsszenarien zuordnen lässt. Die Auflistung der relevanten Unfälle im Verfahren der ÖBB unterscheidet sich dabei von den Gefährdungsszenarien des SBB-Verfahrens.

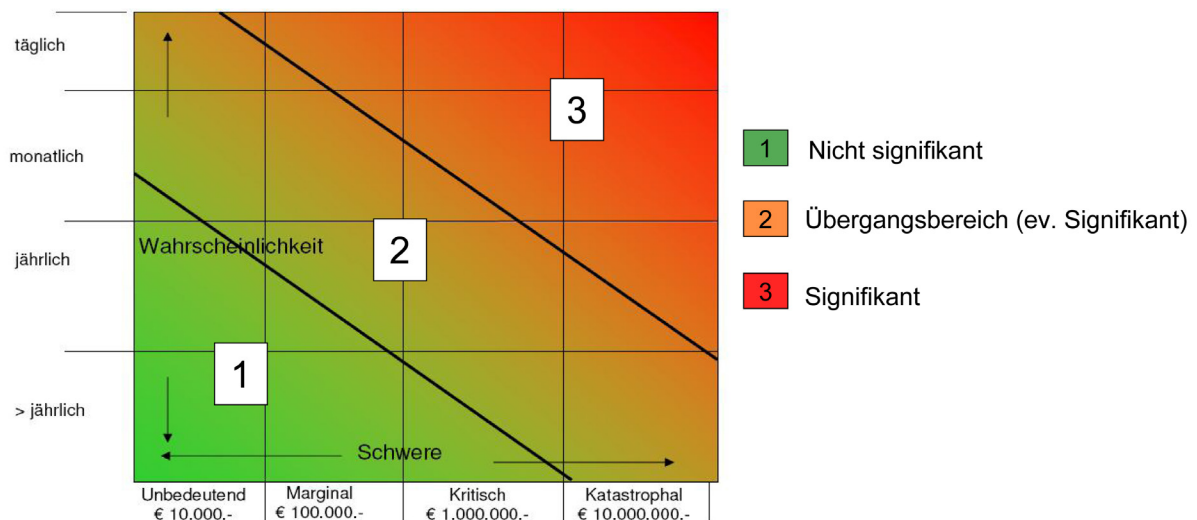


Abbildung 9: Einstufungsmatrix der ÖBB. Siehe [KUN11]

Bezüglich der in Kapitel 3 identifizierten Aspekte, die einer weiteren Klärung bedürfen, konnte aus der Betrachtung dieses Verfahrens keine Erkenntnis hinsichtlich der Definition des Begriffs „Änderung“ gewonnen werden. Auch der Begriff der Signifikanz wird innerhalb dieses Verfahrens nicht näher erläutert. Jedoch hat die hier erfolgte Untersuchung gezeigt, dass dieses Verfahren über ein eindeutiges Vorgehen verfügt und keine Interpretationsspielräume bei seiner Anwendung lässt. Betrachtet man das ÖBB-Verfahren selbst, kommen die Signifikanzkriterien der CSM-Vorschriften nicht zur Anwendung. Ausschließlich das Kriterium „Folge von Ausfällen“ lässt sich der „Schwere der Unfälle“ in der Einstufungsmatrix zuordnen. Für die Nichtberücksichtigung der Kriterien lässt sich in den Dokumenten zum Verfahren keine Begründung finden. Jedoch ist eine Anwendung der Kriterien gegebenenfalls möglich, wenn die Änderung sich im Übergangsbereich der Einstufungsmatrix befindet. Für diesen Fall ist durch den Vorschlagenden ein Verfahren zu entwickeln, um zu einer Entscheidung hinsichtlich der Signifikanz zu gelangen. Jedoch ist zu erwähnen, dass dieses Verfahren statt der Anwendung der Signifikanzkriterien eine Form der Risikoanalyse durchführt, indem es Gefährdungen identifiziert und davon betroffene Unfallarten einer Risikomatrix zuordnet. Durch diesen rein risikobasierten Ansatz bestehen Ähnlichkeiten zum Verfahren des ProdSG zur Bewertung von Änderungen an technischen Anlagen und Maschinen, welches in Abschnitt 4.1.2 erläutert wurde.

Die Identifikation der von der Änderung betroffenen Gefährdungen und die Zuordnung dieser Gefährdungen zu einer Liste von relevanten Unfällen stellen die wesentlichen Schritte in diesem Verfahren dar. Das Problem ist, dass das hier beschriebene Verfahren bereits einer Teilanwendung eines Risikomanagementverfahrens entspricht. In diesem Verfahren werden

im ersten Schritt eine Gefährdungsermittlung sowie eine Gefährdungseinstufung durchgeführt. Zudem hat die Betrachtung des Verfahrens des ProdSG in Abschnitt 4.1.2 gezeigt, dass für die Gefährdungsermittlung in der Regel eine Risikoanalyse notwendig wird. Das ÖBB-Verfahren benötigt für seine Anwendung also bereits Teile des Risikomanagementverfahrens, über dessen Anwendung es erst entscheiden soll. Der eigentliche Zweck der Signifikanzbewertung wird aufgrund dieses Vorgehens und der Nichtanwendung der Kriterien der CSM-Vorschriften somit umgangen. Gleichzeitig erfolgt durch die Nichtanwendung der qualitativen Kriterien keine Betrachtung der Änderung selbst, sondern ausschließlich eine risikobasierte Betrachtung des geänderten Systems. Die Durchführung der Änderung sowie die Erfahrung mit dieser Durchführung werden bei diesem Verfahren im Gegensatz zum „Safety Scanning“ nicht bewertet. Da dieses Verfahren einen ausschließlich risikobasierten Ansatz verfolgt und darüber hinaus keine der qualitativen Kriterien zur Anwendung kommen, können somit anhand der hier erfolgten Betrachtung keine Erkenntnisse bezüglich der Rolle der qualitativen Kriterien im Zusammenspiel mit einer risikobasierten Betrachtung gewonnen werden. Auch für eine mögliche Gewichtung der Signifikanzkriterien liefert dieses Verfahren keine weiteren Erkenntnisse.




Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz ist innerhalb dieses Verfahrens nicht enthalten. Die Abbildung 8 macht jedoch deutlich, dass die Identifikation der Gefährdungen diese Aufgabe einnimmt. In Abschnitt 3.3 wurde als Ergebnis der Betrachtung der CSM-Vorschriften festgehalten, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz die möglichen Auswirkungen der Änderung auf die Sicherheit untersucht. Eine Identifikation der Gefährdungen entspricht also dieser Beschreibung. Eine explizite Abgrenzung der Sicherheitsrelevanz von der „Folge von Ausfällen“ liegt für dieses Verfahren nicht vor. Hieraus kann geschlossen werden, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz der Identifikation der Gefährdungen entspricht und das Kriterium „Folge von Ausfällen“ auf der anderen Seite die Folgen von relevanten Unfällen bewertet, die durch die Gefährdungen betroffen sind. Da innerhalb dieses Verfahrens die Prüfung der Sicherheitsrelevanz als Vorkriterium im Sinne der CSM-Vorschriften nicht mehr enthalten, sondern in Form der Identifikation von Gefährdungen bereits Teil der eigentlichen Signifikanzbewertung ist, ist eine Abgrenzung der Sicherheitsrelevanz und der „Folge von Ausfällen“ auch nicht mehr explizit erforderlich.

Das Dokument [KUN11] liefert die weitergehende Erkenntnis, dass gemäß des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie eine Änderung der Sicherheitsbescheinigung, der Sicherheitsgenehmigung, der Baugenehmigungen sowie der Bauartgenehmigungen, die leistungssteigernd und gleichzeitig umfangreich sind, jeweils signifikante Änderungen darstellen.

4.2.2 Verfahren der SBB zur Bewertung von Änderungen

Ähnlich wie bei dem im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Verfahren aus Österreich gab es auch Anstrengungen in der Schweiz, die Probleme mit dem CSM-Verfahren zu umgehen. Die im Mai 2010 an der eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich veröffentlichte Arbeit [SHA10] beschäftigt sich mit dem CSM-Prozess und hierbei insbesondere mit der Signifikanzbewertung von Änderungen. Das Ziel dieser Arbeit war es, den vorhandenen Prozess zu analysieren und praktikable Kriterien zu finden, anhand derer die Signifikanz von Änderungen bewertet werden kann.

Um den Begriff Sicherheitsrelevanz sowie Signifikanz besser fassen zu können, werden in der Arbeit elf praktische Beispiele für signifikante Änderungen beschrieben. Diese Änderungen entstammen unterschiedlichen Abteilungen der SBB und sind alle eindeutig als signifikant eingestuft worden. Für jede dieser elf Änderungen wird der betroffene Bereich der Änderung, die Sicherheitsrelevanz sowie die Signifikanz der Änderung beschrieben. Gleichzeitig wird jedes der elf Beispiele kurz erläutert. Darüber hinaus findet für jede Änderung eine Einschätzung statt, wie viele vergleichbare Änderungen pro Jahr jeweils zu erwarten sind. Im Weiteren wird versucht, die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie den Begriff der „signifikanten Änderung“ mit Hilfe der elf signifikanten Beispiele zu definieren. Es wird zunächst festgehalten, dass für das Verständnis des Kriteriums „Sicherheitsrelevanz“ auch ein Verständnis für den Begriff „Sicherheit“ vorliegen muss. Aus der Definition des Begriffs „Sicherheit“ wird abgeleitet, dass Sicherheit als die Qualität eines Systems aufgefasst werden kann, nach dem dieses System frei von inakzeptablen Gefährdungen für Personen oder Sachgüter ist. Dem gegenübergestellt wird die Definition des Begriffs Risiko. [SHA10] kommt daraufhin zu der Einschätzung, dass die Kenntnis der unterschiedlichen Risikoarten entscheidend für das Verständnis der Prüfung der Sicherheitsrelevanz ist.

Frequency			Risk classes					
frequent	> 100 / year	I	 Occupational Risks					
	10 to 100 / year	II						
occasional	1 to 10 / year	III	 Natural Hazards					
	0.1 to 1 / year	IV						
rare	0.01 to 0.1 / year	V	 Derailments / Collisions					
	< 0.01 / year	VI						
Damage			A	B	C	D	E	F
			< 10 kCHF	10 to 100 kCHF	100 kCHF to 1 Mio CHF	1 Mio to 10 Mio CHF	10 Mio to 100 Mio CHF	> 100 Mio CHF
			small		medium		large	

Legend: Negligible Tolerable --- Undesirable Intolerable

Abbildung 10: Gefährdungsszenarien im Verfahren der SBB. Siehe [SHA10]

In der Arbeit wird weiter beschrieben, dass innerhalb des SMS jedes Bahnbetreibers durch die Untersuchung von Daten zu Unfällen und Vorfällen im eigenen Betrieb die Grundlage für das Verständnis der unterschiedlichen Risikoarten vorliegt. Bei den Daten werden neben den Bereichen, in denen diese Unfälle und Vorfälle aufgetreten sind, auch die Schäden ermittelt. Die Unfälle und Vorfälle lassen sich zudem unterschiedlichen Gefährdungsszenarien

zuordnen. Diese Gefährdungsszenarien sind dabei nicht in Übereinstimmung mit denjenigen Kategorien, die bei der Definition des Begriffs „Unfall“ in der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie erläutert werden. Ordnet man nun die Daten der Unfälle den verschiedenen Szenarien zu, lässt sich für jedes der Szenarien die Häufigkeit sowie die Schwere bestimmen. Trägt man die Ergebnisse dieses Vorgehens in eine Risikomatrix ein, erhält man die Darstellung der Abbildung 10. Zusätzlich ist in der Risikomatrix jedem Feld eine von fünf möglichen Kategorien der Risikoakzeptanz zugeordnet. Im nächsten Schritt wird für jedes der elf Beispiele der potentielle Einfluss auf die in Abbildung 10 dargestellten Szenarien betrachtet. Dabei wird berücksichtigt, wie offensichtlich dieser Einfluss ist und welche der fünf Szenarien am häufigsten von Änderungen betroffen sind. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass Änderungen in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Es existieren einerseits Änderungen, die eindeutig neue Risiken hervorbringen. Andererseits existieren Änderungen, die zu verbesserter Sicherheit führen wie beispielsweise zusätzliche Gleise und überarbeitete Sicherheitstechnik. Statt einer Definition der Sicherheitsrelevanz werden in dieser Arbeit typische Bereiche beschrieben, in denen sicherheitsrelevante Änderungen vorkommen. Diese fünf identifizierten Bereiche sind in Tabelle 18 dargestellt und erläutert. Sicherheitsrelevante Änderungen sind demnach vor allem in denjenigen Bereichen zu finden, wo ein Einfluss der Änderung auf Unfallkategorien wie beispielsweise Kollisionen oder Entgleisungen besteht.

Bereich der Änderung	Erläuterung der Sicherheitsrelevanz
technische Sicherungseinrichtungen	Technische und organisatorische Änderungen von technischen Sicherungseinrichtungen besitzen deswegen Sicherheitsrelevanz, da sie Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen oder Entgleisungen haben können.
Änderungen im Fahrbetrieb	Hat der Triebfahrzeugführer keine Streckenkenntnisse vor allem im Bereich von Bahnhöfen bedeutet dies ein erhebliches Risiko.
Infrastrukturprojekte	Modifikationen von bestehenden Strecken oder Bau komplett neuer Streckenabschnitte besitzen in der Regel Sicherheitsrelevanz, da hierfür wiederum die Änderung/ der Neubau von technischen Sicherungseinrichtungen erforderlich ist.
Bau von Gebäuden oder Wartungsarbeiten in Streckennähe	Die Sicherheitsrelevanz besteht durch die Möglichkeit von Kollisionen zwischen Zügen und Baumaschinen sowie ähnlich gelagerten Unfällen.
Neufahrzeuge	Neue Zugmodelle müssen alle sicherheitsrelevanten Funktionen zuverlässig erfüllen und zudem kompatibel zu den technischen Sicherungseinrichtungen der Strecke sein, da ansonsten unmittelbare Gefährdungen für die Fahrgäste und die Allgemeinheit bestehen.

Tabelle 18: Bereiche für sicherheitsrelevante Änderungen

Nach der Untersuchung der Sicherheitsrelevanz anhand des beschriebenen Vorgehens wurde im folgenden Schritt die Signifikanz von Änderungen betrachtet. Da zu diesem Zeitpunkt der Signifikanzbewertung noch keine detaillierte Gefährdungsanalyse stattgefunden hat und damit keine detaillierten Informationen über die von der Änderung betroffenen Risiken vorliegen, ist laut [SHA10] ausschließlich ein qualitatives Vorgehen sinnvoll. Eine Bewertung der Signifikanz soll daher anhand der Beantwortung der folgenden zwei Fragen erfolgen:

- 1.) Welche qualitativen Anzeichen für Signifikanz liegen vor?
- 2.) Müssen ungünstige Effekte, die aus der Änderung resultieren, in irgendeiner Form begrenzt werden?

Daraus folgt, dass signifikante Änderungen dadurch gekennzeichnet sind, dass sie in der Regel einen besonderen Einfluss auf ein oder mehrere Gefährdungsszenarien der Abbildung 10 besitzen. Nach der Identifikation der betroffenen Gefährdungsszenarien können Experten nach Ansicht der Arbeit entscheiden, ob die Änderung einen relevanten Einfluss auf die

Risiken des Eisenbahnsystems hat. Ist dies der Fall, würde die Änderung als signifikant eingestuft werden. Darüber hinaus sind Änderungen vor allem dann signifikant, wenn sie einen besonderen Aufwand bei ihrer Untersuchung benötigen und gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um potentielle Gefährdungen zu vermeiden. Die Ergebnisse der Untersuchung der Beispiele hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz sowie ihrer Signifikanz werden im Folgenden dazu genutzt, die vorhandenen Kriterien der CSM-Vorschriften zu diskutieren. Dabei fasst die Arbeit die Kriterien in drei unterschiedliche Gruppen zusammen. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ stellt dabei die erste Gruppe dar und wird im Sinne der Vorschriften aufgefasst. Das bedeutet, dass dieses Kriterium sich auf den schlimmsten zu erwartenden Unfall im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung bezieht. Kritisiert wird hieran, dass ausschließlich eine grobe Einschätzung anhand dieses Kriteriums möglich ist, da weitergehende Gefährdungsanalysen zu diesem Zeitpunkt nicht vorliegen und damit auch Barrieren, die das Eintreten von Unfällen verhindern könnten, nicht oder nur unzureichend bekannt sind. Im Rahmen des in der Arbeit gewählten Vorgehens war es laut [SHA10] zudem schwierig, die möglichen Gefährdungen einer Änderung ausschließlich einem einzigen Risikoszenario zuzuordnen.

Die Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ werden als qualitative Kriterien aufgefasst und der zweiten Gruppe zugeordnet. Hierbei stellen die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ nach der Einschätzung der Arbeit wichtige Aspekte von signifikanten Änderungen dar. Die Kriterien „Umkehrbarkeit“ und „Überwachbarkeit“ werden hingegen als zu ungenau angesehen und sind daher laut [SHA10] nicht für die Signifikanzbewertung geeignet. Das Kriterium „Additive Wirkung“ wird in der Arbeit einer dritten Gruppe zugeordnet. Es wird wie in Abschnitt 3.2.1 als der kombinierte Effekt von mehreren Änderungen verstanden, die für sich genommen als nicht signifikant eingestuft wurden, in ihrer Kombination aber Signifikanz erlangen können. Die Tabelle 19 gibt eine Übersicht darüber, wie in [SHA10] die einzelnen Kriterien aufgefasst werden. Die Arbeit schlägt anhand der vorangegangenen Untersuchung vor, zunächst wie in den CSM-Vorschriften beschrieben die Prüfung der Sicherheitsrelevanz der Änderung vorzunehmen. Nach Ansicht des Autors ist dafür eine grobe Analyse notwendig, welche Risikoszenarien durch die Änderung betroffen sind. Dieses soll mittels der in Abbildung 10 dargestellten Tabelle und den dort enthaltenen Gefährdungsszenarien geschehen. Die Voraussetzung hierfür ist somit, dass die Bahnbetreiber ihre im SMS vorhandenen Daten für die Schaffung einer solchen Tabelle nutzen, falls dieses nicht bereits geschehen ist.

Gruppe 1		Gruppe 2		Gruppe 3	
risikobasiertes Kriterium		qualitative Kriterien		Kombinierte Effekte von Änderungen	
Folge von Ausfällen	Betrachtet den schlimmsten zu erwarten Unfall unter Berücksichtigung der Sicherheitsbarrieren	Innovation	wichtige Kriterien für die Signifikanzbewertung	Additive Wirkung	Berücksichtigt zurückliegende, nicht sicherheitsrelevante Änderungen
		Komplexität			
		Überwachung	zu ungenaue Kriterien und für die Signifikanzbewertung ungeeignet		
		Umkehrbarkeit			

Tabelle 19: Übersicht über das Verständnis der Kriterien in [SHA10]

Die Signifikanz der Änderung soll nach Ansicht des Autors anhand der qualitativen Einschätzung des Schadensausmaßes bewertet werden. Die entscheidende Frage in diesem Zusammenhang ist, ob das Schadensausmaß relevant oder marginal ist. Eine signifikante Änderung liegt aufgrund der Ergebnisse der Analyse der elf Beispiele dann vor, wenn durch die Änderung ein starker Einfluss auf ein oder mehrere Gefährdungsszenarien besteht.

Gleichzeitig deuten die Notwendigkeit für eine besondere Überprüfung der Änderung und gegebenenfalls erforderliche zusätzliche Maßnahmen zur Gefährdungsvermeidung auf eine signifikante Änderung hin. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, die qualitativen Kriterien „Komplexität“ und „Innovation“ als zusätzliche Entscheidungshilfe einzusetzen. Die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ sollen nicht in die Signifikanzentscheidung miteinbezogen werden. Sofern Änderungen in der Vergangenheit geschehen sind, die als nicht signifikant eingeschätzt wurden und dasselbe Risikoszenario betreffen, ist es nach Ansicht von [SHA10] sinnvoll, dieses durch das Kriterium „Additive Wirkung“ zu berücksichtigen.

Die vorangegangene Betrachtung des SBB-Verfahrens hat keinerlei Erkenntnisse für das Verständnis des Begriffs der Änderung erbracht. Jedoch wird in diesem Verfahren versucht, mittels der Betrachtung von elf bereits als signifikant eingestuften Änderungen Aussagen hinsichtlich des Begriffs „Signifikanz der Änderung“ sowie der Prüfung der Sicherheitsrelevanz zu treffen. Bezüglich der Sicherheitsrelevanz kommt die Arbeit zu dem Schluss, dass zwischen zwei Arten von sicherheitsrelevanten Änderungen unterschieden werden kann. Dies sind zum einen sicherheitsrelevante Änderungen, die neue Risiken zur Folge haben. Zum anderen sind dies sicherheitsrelevante Änderungen, welche zu einer verbesserten Sicherheit führen. Sicherheitsrelevante Änderungen lassen sich zudem nach Aussage der Arbeit in der Regel einem der fünf Bereiche zu ordnen, die in Tabelle 18 dargestellt sind. Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz wird demnach in diesem Verfahren so aufgefasst, dass hiermit überprüft wird, welcher Einfluss die Änderung auf Risiken im Eisenbahnwesen besitzen kann. Hierbei existieren typische Bereiche, in denen Änderungen Sicherheitsrelevanz besitzen, da die Änderungen hier einen besonderen Einfluss auf Unfallkategorien wie beispielsweise Entgleisungen und Kollisionen haben können. Auf der anderen Seite liegt eine signifikante Änderung nach Ansicht der Arbeit dann vor, wenn ein besonderer Einfluss der Änderung auf ein oder mehrere Gefährdungsszenarios vorliegt. Gleichzeitig deutet die erforderliche Begrenzung von ungünstigen Effekten der Änderung beispielsweise durch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen auf eine signifikante Änderung hin. Eine explizite Definition für den Begriff der „Signifikanz“ oder der „signifikanten Änderung“ wird jedoch nicht gefunden. Das Verfahren selbst lässt einige Interpretationsspielräume bei der Signifikanzbewertung. Jedoch sind diese Interpretationsspielräume weniger problematisch als die fehlende Gewichtung des in Kapitel 3 beschriebenen Verfahrens der CSM-Verordnung. Auch wenn innerhalb dieses Verfahrens keine explizite Definition gegeben ist, wird deutlich, dass die Signifikanz der Änderung davon abhängig gemacht werden soll, welcher Einfluss auf relevante Risiken und Gefährdungen besteht und dass gleichzeitig weitere ungünstige Effekte der Änderung mit in die Betrachtung einzubeziehen sind. Aus diesem Grund ist auch ohne eine Definition des Begriffs der „Signifikanz“ der Zweck der Signifikanzbewertung deutlich.

Eine Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz und des Kriterium „Folge von Ausfällen“ findet in der Arbeit nicht explizit statt. Jedoch ist aus der vorangegangenen Erläuterung zu erkennen, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz ähnlich wie im ÖBB-Verfahren versucht festzustellen, ob bestimmte Risiken oder Gefährdungen von der Änderung betroffen sein können. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ soll dazu dienen, die genauen Auswirkungen auf diese Risiken oder Gefährdungen zu bewerten. Die Berücksichtigung von Sicherheitsbarrieren ist nach Ansicht der Arbeit deswegen schwierig, weil zu diesem

Zeitpunkt der Untersuchung in der Regel keine Gefährdungsanalyse vorliegt. Die Signifikanz der Änderung soll daraufhin laut [SHA10] anhand der Sicherheitsrelevanz sowie des qualitativen Einflusses der Änderung auf die Risiken des Eisenbahnwesens bestimmt werden. Somit nimmt die Sicherheitsrelevanz wie im Verfahren der ÖBB keine Rolle eines Vorkriteriums im Sinne der CSM-Vorschriften ein. Vielmehr dient es bereits der Signifikanzbewertung, so dass eine klare Trennung der Sicherheitsrelevanz von der „Folge von Ausfällen“ auch innerhalb dieses Verfahrens nicht erforderlich ist.

Das SSB-Verfahren selbst folgt einer risikobasierten Betrachtung der Änderung. Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz sowie die „Folge von Ausfällen“ sind demnach auch Teil dieses Verfahrens und untersuchen den Einfluss der Änderungen auf relevante Risiken und Gefährdungen des Eisenbahnsystems. Die qualitativen Kriterien werden in diesem Zusammenhang in zwei Gruppen eingeteilt. Im Gegensatz zu den Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“, die bei der Signifikanzentscheidung hilfreich sein können, sind die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für die Anwendung dieses Verfahrens nicht relevant. Die Rolle der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ innerhalb dieses Verfahrens wird jedoch nicht erläutert, so dass die in Kapitel 3 identifizierten Probleme im Zusammenhang mit den qualitativen Kriterien auch in diesem Verfahren bestehen und keine Klärung erfahren. Auch Erkenntnisse hinsichtlich der Gewichtung der Kriterien lassen sich aus diesem Verfahren der SBB nicht ableiten.

Problematisch an diesem Verfahren ist zum einen, dass eine Übersicht über die Risiken des jeweiligen Betreibers vorliegen muss, in der auch die Gefährdungsszenarien dargestellt sind. Die Arbeit verfolgt die Einschätzung, dass die hierfür notwendigen Daten durch die Betreiber sowieso erhoben werden und im SMS vorliegen. Liegen diese Daten aus einem Grund nicht vor, weil es sich bei dem Vorschlagenden beispielsweise nicht um einen großen Bahnbetreiber handelt, ist zunächst ein großer Aufwand erforderlich, die Darstellung mit den Risiken und den Gefährdungsszenarien zu erhalten. Auch wenn diese Darstellung und die dafür benötigten Daten nicht für jede Änderung aufs Neue beschafft werden müssen, kann mit diesem Vorgehen ein erhöhter Aufwand verbunden sein. In diesem Verfahren wird somit ein ähnlicher Ansatz wie im ÖBB-Verfahren aus Abschnitt 4.2.2 verfolgt. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass im SBB-Verfahren versucht wird, die Vorwegnahme des Risikomanagementverfahrens zu umgehen. In [SHA10] ist ausdrücklich beschrieben, dass die Signifikanzbewertung anhand einer qualitativen Betrachtung erfolgen soll, obwohl innerhalb dieses Verfahrens Risiken und Gefährdungen untersucht werden. Diese qualitative Betrachtung soll dadurch ermöglicht werden, dass die untersuchten Änderungen bereits bekannten Gefährdungen zugeordnet werden, für die zudem das Risiko bekannt ist. Anders als im ÖBB-Verfahren ist diesen Risiken jedoch keine Einschätzung der Signifikanz zugeordnet. Das Problem an diesem Mittelweg zwischen einer qualitativen Gefährdungsbetrachtung ohne Vorwegnahme des Risikomanagementverfahrens und der Anwendung eines Teils der Kriterien der CSM-Vorschriften ist die ungeklärte Aufgabe der qualitativen Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ innerhalb dieses Verfahrens. Für eine reine Gefährdungsbetrachtung ist die Anwendung dieser beiden Kriterien wie im ÖBB-Verfahren nicht erforderlich. Vielmehr könnten die beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ wie auch die beiden anderen Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für eine Betrachtung der Durchführung der Änderung sowie der Erfahrung mit dieser

Durchführung genutzt werden, die jedoch im Rahmen dieser Gefährdungsbetrachtung keine erkennbare Relevanz besitzt. So lässt sich für das SBB-Verfahren festhalten, dass es nicht wie das ÖBB-Verfahren die Signifikanzbewertung umgeht und eine direkte Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens vornimmt. Damit muss jedoch die Signifikanzbewertung auch alle erforderlichen Aspekte enthalten, die sich aus den CSM-Vorschriften sowie den offiziellen Dokumenten der ERA ergeben. Da in diesem Verfahren keine Betrachtung der Änderung selbst vorgenommen wird und somit auch die qualitativen Kriterien nicht beziehungsweise nicht nachvollziehbar zur Anwendung kommen, entspricht dieses Verfahren nicht der Absicht der CSM-Verordnung, da ein wesentlicher Aspekt nicht enthalten ist.

Unabhängig vom beschriebenen Verfahren sind zwei Aspekte an dieser Arbeit interessant. Zum einen erfolgt eine Bewertung von Änderungen, die bereits als signifikant eingestuft worden sind. Anhand dieser Betrachtung wird innerhalb der Arbeit versucht, Rückschlüsse auf das Verfahren zur Signifikanzbewertung zu ziehen. Zum anderen versucht diese Arbeit eine Schätzung vorzunehmen, wie hoch die ungefähre Zahl an signifikanten Änderungen ist. Die Schätzung kommt hierbei auf 250 Änderungen, die jährlich im Bereich der SBB als signifikant eingestuft werden und für die damit der ausführliche Risikobewertungsprozess angewendet werden muss. Der zusätzliche Arbeitsaufwand würde aber nach Ansicht von [SHA10] relativ gering bleiben, da einige dieser Änderungen als weitgehend akzeptabel eingeschätzt werden können. Gleichzeitig können nach Ansicht von [SHA10] eine Vielzahl dieser Änderungen mit den allgemeinen Regeln der Technik abgedeckt werden. Zudem können für einige der dann noch verbliebenen Änderungen ähnliche Referenzsysteme als Grundsatz der Risikoakzeptanz genutzt werden, so dass hier keine explizite Risikoabschätzung erfolgen muss. Durch das Ergebnis der Arbeit wird damit die Frage aufgeworfen, ob nicht die Möglichkeit besteht, den kompletten Prozess zur Signifikanzbewertung zu umgehen und direkt eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens vorzunehmen. Dieser Ansatz ist im ÖBB-Verfahren aus Abschnitt 4.2.1 bereits insofern umgesetzt, dass in diesem Verfahren eine reine Betrachtung der Gefährdungen vorgenommen wird und keine Anwendung der Signifikanzkriterien erfolgt. Wenn dieses ÖBB-Verfahren zu dem Ergebnis gelangt, dass die Änderung signifikant ist, könnte daraufhin wie im SBB-Verfahren beschrieben der Versuch unternommen werden, die Änderungen über die anerkannten Regeln der Technik oder über Referenzsysteme abzudecken. Ausschließlich für die verbleibenden Änderungen müsste dann eine explizite Risikoabschätzung erfolgen.

4.2.3 Verfahren des ORR zur Bewertung von Änderungen

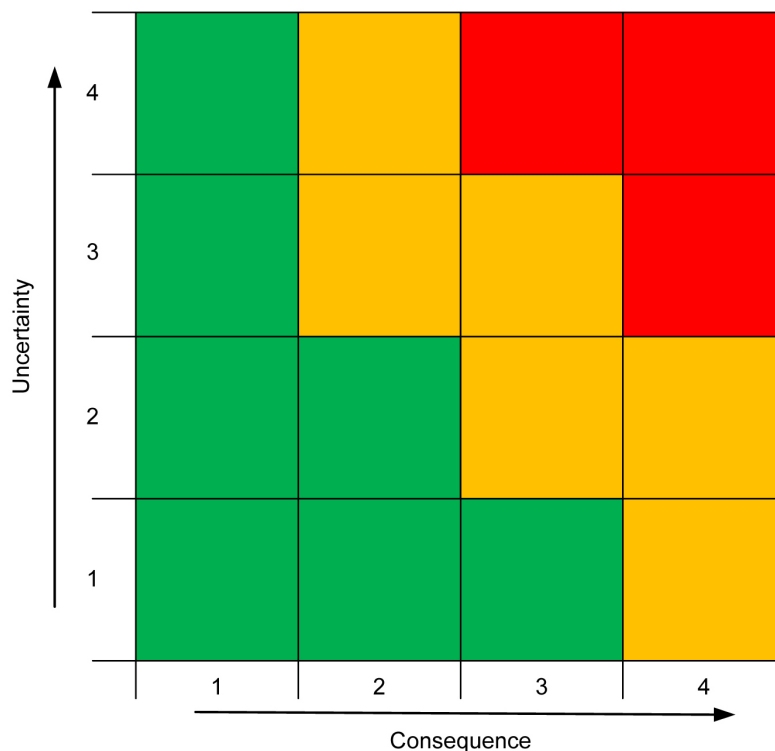
Das britische ORR hat aufgrund des Erscheinens der CSM-Verordnung im September 2010 das Dokument [ORR10] veröffentlicht, das die Anwendung der CSM-Verordnung beschreibt und gleichzeitig ein Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen enthält. Im Anhang 1 dieses Dokuments wird dieses Verfahren zur Signifikanzbewertung vorgestellt. Hierbei werden die einzelnen Kriterien, die im Verfahren der ERA ihre Anwendung finden, nochmals erläutert und daraufhin nach ihrer Aussagekraft bewertet. In einem ersten Schritt werden die vorhandenen Kriterien gruppiert und neu angeordnet, so dass ihre Anwendung vereinfacht wird. Weiterhin vorangestellt ist die Entscheidung, ob die geplante Änderung einen Einfluss

auf die Sicherheit hat. Kommt der Vorschlagende an dieser Stelle zu der Entscheidung, dass kein Einfluss auf die Sicherheit besteht, muss wie im ursprünglichen Verfahren der CSM-Vorschriften keine Anwendung der weiteren Signifikanzkriterien erfolgen. Das Diagramm, das das Vorgehen der Bewertung im ORR-Verfahren darstellt, ist in Abbildung 23 in Anhang 8.2.4 dargestellt.

Die ORR vertritt die Ansicht, dass das Kriterium „Additive Wirkung“ vorweg betrachtet werden muss, da es den Bereich definiert, für den die Änderung bewertet wird. Bei der Betrachtung einer Änderung A müssen auch zurückliegende Änderungen berücksichtigt werden, die für sich genommen nicht als signifikant eingestuft wurden. Diese Auffassung der ORR bezüglich dieses Kriteriums entspricht dem Verständnis, welches auch in den offiziellen Dokumenten der ERA vertreten wird (vgl. Abschnitt 3.2.1). Die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ fasst die ORR so auf, dass aus der Zusammenfassung dieser Kriterien hervorgeht, wie groß die „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ („uncertainty of outcome“) ist, die aus den Änderungen resultieren können. Die hierbei zugrunde liegende Annahme ist, dass bei einer besonders komplexen und innovativen Änderung eine hohe Unsicherheit dahingehend besteht, ob die Änderung sich wie vorhergesagt verhält oder ob gegebenenfalls unvorhergesehene Folgen auftreten. Dabei gibt das Verfahren keine Handlungsanweisung, inwiefern eine Zuordnung der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ zu den vier unterschiedlichen Kategorien der „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ durchzuführen ist. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ soll in diesem Verfahren das mögliche Schadensausmaß beschreiben, welches daraus resultieren kann, dass das System sich durch die Änderung nicht wie beabsichtigt verhält. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wird im Weiteren in vier mögliche Schadenskategorien unterteilt. Im Vorschlag des ORR sind dies die Kategorien katastrophal, kritisch, marginal und unbedeutend. Die Einteilung dieser Kategorien entspricht dabei der EN 50126.

Der zentrale Ansatz des ORR-Verfahrens besteht darin, das zusammengesetzte Kriterium „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ mit dem Kriterium „Folge von Ausfällen“ innerhalb einer Matrix zu kombinieren. Diese Matrix entspricht in ihrer Form einer Risikomatrix, bei der laut [BRA05] die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadens und das Schadensausmaß innerhalb einer Matrix dargestellt sind. Jedoch ist auf der Y-Achse im Gegensatz zur Risikomatrix statt der Häufigkeit des Eintretens eines Schadens die „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ abgetragen. Die beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ sollen nach dem Vorschlag des ORR ausschließlich als zusätzliche Kriterien zur Anwendung kommen, falls die Anwendung der anderen Kriterien kein Ergebnis hinsichtlich der Signifikanzentscheidung gebracht hat. Nach Ansicht des ORR sollte der Vorschlagende in Bezug auf das Kriterium „Überwachung“ bewerten, inwieweit ein System zur Überwachung implementiert werden kann. Dieses System sollte in der Lage sein, in ausreichendem Maß und rechtzeitig genug zu warnen. Nach einer solchen Warnung sollen wirksame Gegenmaßnahmen getroffen werden, die Gefährdungen verhindern oder abschwächen, die unmittelbar aus der durchgeführten Änderung resultieren. Das Kriterium „Umkehrbarkeit“ sollte nach Ansicht des ORR eine Aussage über die Fähigkeit geben, inwiefern vom Überwachungssystem erkannte unerwünschte Effekte der Änderung wieder rückgängig gemacht werden können. Eine Änderung kann auf dieser Grundlage dann als signifikant eingeordnet werden, wenn es nicht möglich ist, die Effekte der Änderungen zu

überwachen oder falls es unmöglich ist, unerwünschte Effekte der Änderung rückgängig zu machen.



		<u>Consequence</u>	<u>Uncertainty</u>
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div>	Significant Change	1 = Insignificant	1 = Very low
	Apply Additional Criteria	2 = Marginal	2 = Low
	Non-Significant Change	3 = Critical	3 = Medium
		4 = Catastrophic	4 = High

Abbildung 11: Entscheidungsmatrix des ORR-Verfahrens. Siehe [ORR10]

Die Besonderheit am ORR-Verfahren ist, dass für die Einschätzung der Signifikanz einer Änderung die bereits beschriebene Entscheidungsmatrix zur Anwendung kommt. Abbildung 11 zeigt diese Matrix mit 16 Feldern, bei der aber nach Ansicht der ORR je nach Anforderung die Anzahl der Felder verändert werden kann. Neben der „Folge von Ausfällen“ (im Diagramm „consequence“) auf der X-Achse sowie der „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ (im Diagramm „uncertainty“) auf der Y-Achse ist jedem der 16 Felder eine Signifikanzbewertung zugeordnet. Je nach vorliegender Kombination aus „Folge von Ausfällen“ und „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ ergibt sich somit für jede betrachtete Änderung eine der drei möglichen Signifikanzbewertungen eindeutig signifikant (rote Felder), eindeutig nicht signifikant (grüne Felder) sowie unklares Ergebnis (orangene Felder). Befindet sich die betrachtete Änderung innerhalb des Bereichs der orangenen Felder, soll eine Anwendung der zusätzlichen Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ erfolgen.

Zunächst ist festzuhalten, dass die Untersuchung des ORR-Verfahrens keine Erkenntnisse hinsichtlich der Definition des Begriffs „Änderung“ erbracht hat. Auch ist keine Betrachtung des Begriffs „Signifikanz“ erfolgt. Jedoch verfügt das Verfahren über eine Entscheidungsmatrix, in die die Kriterien „Folge von Ausfällen“, „Innovation“ und „Komplexität“ eingehen. Den einzelnen Feldern dieser Entscheidungsmatrix ist jeweils eine Einschätzung über die Signifikanz der betrachteten Änderung zugeordnet. Das Verfahren besitzt somit über diese Zuordnung eine implizite Definition der Signifikanz einer Änderung. Der Interpretationsspielraum dieses Verfahrens ist deutlich geringer als im ursprünglichen Verfahren der CSM-Verordnung aus Abschnitt 3.1. Jedoch verfügt dieses Verfahren über keine Erläuterung, inwiefern die vier unterschiedlichen Kategorien der „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ mit den jeweils vorliegenden Einschätzungen der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ in Verbindung stehen. Ohne eine solche Erläuterung ist es in diesem Verfahren die Aufgabe des Vorschlagenden, die jeweils nach seiner Einschätzung richtige Kategorie anhand der beiden Kriterien zu bestimmen. Zudem soll für eine Änderung eine Betrachtung der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ erfolgen, falls diese innerhalb der Einstufungsmatrix nicht in den eindeutig signifikanten beziehungsweise nicht signifikanten Bereich fällt. In welcher Weise die beiden Kriterien in diesem Fall zur Signifikanzbewertung herangezogen werden, ist innerhalb des Dokuments der ORR nicht weiter beschrieben. Die genaue Anwendung ist somit wiederum Aufgabe des Vorschlagenden. Trotz der fehlenden Erläuterung der genauen Rolle der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ besitzt dieses Verfahren der ORR eine Verbindung von qualitativen und risikobasierten Kriterien in Form einer angepassten Risikomatrix. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ besitzt hierzu vier Kategorien und soll für die Bewertung der möglichen Ausfallfolgen des Systems genutzt werden, die auf die Änderung zurückzuführen sind. Eine Verbindung des risikobasierten Kriteriums „Folge von Ausfällen“ mit den qualitativen Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ wird dadurch hergestellt, dass diese beiden Kriterien als „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ interpretiert werden. Diese Unsicherheit innerhalb des ORR-Verfahrens, die aus den innovativen oder komplexen Aspekten einer Änderung resultiert, bezieht sich somit auf die Durchführung der Änderung. Dies bedeutet für die Signifikanzbewertung, dass mit steigender Innovation und Komplexität sich auch die Unsicherheit hinsichtlich des Verhaltens des geänderten Systems erhöht und somit auch die Signifikanz der Änderung ansteigt. Diese Interpretation der beiden Kriterien lässt sich mit der Beschreibung dieser Kriterien innerhalb der CSM-Verordnung vereinbaren. Über diesen Ansatz werden innerhalb dieses Verfahrens sowohl die möglichen Folgen der Änderung als auch die Durchführung der Änderung und die Erfahrung mit der Durchführung dieser Änderung betrachtet. Zudem wird in diesem Verfahren das Kriterium „Umkehrbarkeit“ so aufgefasst, dass es eine Verbindung zu dem Kriterium „Überwachung“ besitzt. Nach Ansicht der ORR ist dieses Kriterium an und für sich nur von akademischem Interesse, da im Bereich von Änderungen an technischen Systemen in der Regel keine Rückkehr zum Zustand vor der Änderung möglich ist. Vielmehr sollte nach Auffassung der ORR dieses Kriterium für die Einschätzung genutzt werden, inwiefern die Möglichkeit dafür besteht, auf identifizierte Gefährdungen rechtzeitig zu reagieren.

Im Weiteren ist innerhalb dieses Verfahrens keine explizite Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz von der „Folge von Ausfällen“ beschrieben. Jedoch wird aus der

Anwendung des Verfahrens deutlich, dass die Sicherheitsrelevanz zur Prüfung des Einflusses der Änderung auf die Sicherheit genutzt werden soll. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ betrachtet hingegen die konkreten Folgen eines Ausfalls des geänderten Systems und teilt diese Folgen in eine von vier möglichen Schadenskategorien ein, die sich an den Kategorien der EN 50126 orientieren.

4.2.4 Vorschlag des VDB, der DB AG und des VDV zur Signifikanzbewertung

Der Verband der Bahnindustrie in Deutschland (VDB) hat im November 2010 zusammen mit der DB AG und dem Verband der deutschen Verkehrsunternehmen (VDV) einen Vorschlag zur Änderung der CSM-Verordnung bei der ERA eingereicht. Der Vorschlag bezieht sich ausschließlich auf Änderungen im Bereich der Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung. Mit dem Vorschlag soll ein ganzheitlicher Ansatz für diesen Bereich geschaffen werden, der die Vorgaben der CSM-Verordnung berücksichtigt und eindeutig beschreibt, in welchem Fall eine Änderung als signifikant einzuschätzen ist. Zudem sollen laut [VDB10] lange und kostenintensive Zulassungsprozesse verhindert werden. Dieser Vorschlag geht zurück auf mehrere Treffen einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe im Bereich „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ (ZZS) zur CSM-Verordnung. In einem Dokument dieser Arbeitsgruppe aus dem März 2010 wird auf die einzelnen Teile der Signifikanzbewertung vor dem Hintergrund der Typzulassung eingegangen. Unter anderem wird für die Typzulassung definiert, was unter einer Änderung in diesem Bereich zu verstehen ist. Das Dokument [VDB10²] kommt zu dem Ergebnis, dass eine Änderung dann vorliegt, wenn für ein System oder eine Komponente bereits eine Typzulassung vorliegt und die technische Ausführung dieser Komponente oder dieses Systems verändert wird. Eine solche Änderung kann entweder den Bereich der Hardware oder den der Software betreffen. Gleichzeitig liegt eine Änderung vor, wenn die Funktion der Komponente oder des Systems verändert wird. Der dritte Fall von Änderungen liegt laut [VDB10²] dann vor, wenn definierte Auflagen und Annahmen in bereits existierenden Typzulassungen geändert werden.

Des Weiteren wird die Relevanz der Signifikanzkriterien für Änderungen im Bereich der Typzulassung diskutiert und deren Inhalt interpretiert. Dabei kommt das Dokument zu dem Ergebnis, dass eine Signifikanzentscheidung nicht allein auf Grundlage des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ getroffen werden kann. Als Begründung wird angeführt, dass die Häufigkeit von Ausfällen einerseits mit dem Umfang der Änderung sowie der Komplexität der Änderung zusammenhängt. Daher sollte die Signifikanzentscheidung immer in Verbindung mit den beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ getroffen werden. Änderungen in diesem Teilbereich besitzen dabei nach Aussage des Dokuments einen innovativen Aspekt im Sinne des Kriteriums, falls eine neue Technologie zum Einsatz kommt, mit der der Hersteller bisher keine Erfahrung besitzt. Zudem liegt eine Innovation vor, wenn eine Funktion geändert wird, da mit dieser noch keine Erfahrungen bestehen. In [VDB10²] wird hierzu noch festgehalten, dass, wenn einer der beiden Fälle vorliegt, die Änderung in jedem Fall signifikant ist. Im zeitlich später erschienenen Dokument [VDB10] wird hingegen bei neuen oder geänderten Funktionen zur Signifikanzbewertung eine Betrachtung der Gefährdungsrate vorgenommen, die auch in Abbildung 13 dargestellt ist. Das Kriterium „Komplexität“ wiederum wird in Verbindung zum Kriterium „Innovation“ gesehen und sollte mit diesem zusammen betrachtet werden. Dabei wird beschrieben, dass die „Komplexität“ unter anderem die Änderung der

Gefährdungsraten betrachten soll. Gleichzeitig wird festgestellt, dass eine Änderung des Lastenhefts in jedem Fall für eine komplexe Änderung spricht. Im Weiteren wird für die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ begründet, dass beide Kriterien keine Anwendung innerhalb der Signifikanzbewertung im Bereich der Typzulassung finden sollen. Als Begründung wird angeführt, dass die Überwachbarkeit im Bereich der ZZS in aller Regel gegeben ist. Für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ wird beschrieben, dass statt der „Umkehrbarkeit“ einer Änderung vielmehr die Korrigierbarkeit eines erkannten Fehlers oder einer entdeckten Schwachstelle betrachtet werden sollte. Jedoch wird hinsichtlich dieser Korrigierbarkeit in [VDB10²] festgehalten, dass sie im Bereich der ZZS immer gegeben ist. In dem in [VDB10] beschriebenen Vorschlag über ein Signifikanzverfahren wird auf die erläuterten Erkenntnisse des Dokuments [VDB10²] aufgebaut und zunächst der Ansatz gewählt, dass das von der Änderung betroffene System einer von drei Gruppen fest zugeordnet wird. Der Ansatz unterscheidet hier zwischen steuernden, überwachenden sowie unterstützenden Systemen. Die Einteilung und die Definition der Gruppen sind in Tabelle 20 dargestellt.

Gruppenbezeichnung	Definition	Folgen eines Versagens
Steuernde Systeme	Diese Systeme führen Sicherungsaufgaben autonom aus.	Fehlfunktionen bei steuernden Systemen machen Unfälle sehr wahrscheinlich, da in der Regel keine Instanzen vorhanden sind, die noch eingreifen können.
Überwachende Systeme	Diese Systeme sorgen für die Überwachung der Sicherungsaufgaben anderer Instanzen.	Hat ein überwachendes System eine Fehlfunktion, kann es seine Überwachungsfunktion nicht mehr ausführen.
Unterstützende Systeme	Diese Systeme sorgen für die Gewährleistung von Sicherheitsaufgaben anderer Instanzen.	Fallen unterstützende Systeme aus, kann dies Auswirkungen auf die Ausführung der Sicherheitsaufgaben der betreffenden Instanz haben.

Tabelle 20: Einteilung der Systeme in drei Gruppen

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass das Versagen eines dieser Systemtypen unterschiedliche Auswirkungen besitzt. Für die steuernden Systeme nennt der Änderungsvorschlag unter anderem Stellwerke, linienförmige Zugbeeinflussung und die europäische Zugbeeinflussungssysteme ETCS 1 bis 3 als Beispiel. Der Gruppe der überwachenden Systeme werden die punktförmige Zugbeeinflussung, Geschwindigkeitsüberwachung, Neigetechnik sowie ETCS Limited Supervision zugeordnet. Als Beispiel für unterstützende Systeme werden Zug- und Rangierfunk aufgeführt. Charakteristisch für unterstützende Systeme ist zudem, dass für sie kein SIL angegeben werden kann. Begründet wird dies damit, dass für solche Systeme keine vordefinierte Gefährdungsrate erreicht werden muss. Eine vorläufige Einteilung von Sicherungsanlagen zu den drei Systemtypen wird im Dokument [VDB10] für verschiedene Signal- und Telekommunikationsanlagen vorgenommen. Aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass Änderungen an überwachenden Systemen im Vergleich zu Änderungen an steuernden Systemen zu einem geringeren Anteil als signifikant erachtet werden. Neuentwicklungen sind nach Aussage des Dokuments nach den geltenden Vorschriften der Maximalfall einer Änderung und stellen somit in jedem Fall eine signifikante Änderung dar. Damit wird nach Interpretation des Dokuments [VDB10] für diesen Fall und für alle signifikanten Änderungen eine Typenzulassung des EBA erforderlich. Ebenso ist aus der Darstellung zu erkennen, dass den Änderungen im Bereich von unterstützenden Systemen eine gewisse Sonderrolle zukommt. Aus dem Änderungsvorschlag sowie der Abbildung 12 geht hervor, dass Änderungen an unterstützenden Systemen in keinem Fall signifikant sind. Für Änderungen an steuernden und überwachenden Systemen sind im Dokument zu diesem Ansatz zwei Tabellen

enthalten, anhand derer die Signifikanz bestimmt werden soll. Die erste Zeile der Tabelle beschreibt denkbare Funktionsänderungen bei steuernden Systemen. Die zweite Zeile betrachtet eine mögliche Änderung der Sicherheitsanforderungen für die beschriebenen Änderungen. In der dritten Zeile kann schließlich unterschieden werden, welchen Einfluss die Änderung auf die Gefährdungsrate besitzt. Diese Veränderung der Gefährdungsrate (HR) und die Betrachtung, ob ein sicherheitliches Ermessen erforderlich ist, stellen die beiden Kriterien dar, von dem die jeweilige Signifikanzbewertung der Änderung abhängig gemacht wird.

	Steuernde Systeme		Überwachende Systeme	Unterstützende Systeme	
Nicht sicherheits-relevant / nicht signifikant	Begutachtung durch Sv / PLS		Begutachtung durch Sv / PLS	Bahntauglichkeitsprüfung durch den Betreiber	Erklärung von Hersteller / Betreiber
Signifikant	Begutachtung durch Sv / PLS	SichErm d EBA	Begutachtung durch Sv / PLS		
Neuentwicklung	Begutachtung durch Sv / PLS		Begutachtung durch Sv / PLS		

Abbildung 12: Signifikanzentscheidung für unterschiedliche Systeme. Siehe [VDB10]

Eine Änderung ist dann signifikant, wenn durch diese technische Innovation oder Änderung eine höhere Gefährdungsrate für das betroffene Produkt resultiert. Gleiches gilt, wenn die Entscheidung durch sicherheitliches Ermessen getroffen wurde. Für diesen Fall ist eine Änderung in jedem Fall als signifikant zu bewerten.

Funktionen (Anforderungsspezifikation)	Sicherheitsanforderung an Funktion	Gefährdungsrate der Realisierung (Produkt)	Signifikant / Nicht signifikant	Fall
Keine Änderung der Soll-Funktion	Unverändert	Unverändert oder Änderung führt zu niedrigerer HR_{Produkt}	Nicht signifikant	1
		Techn. Innovation <u>oder</u> Änder. führt zu höherer HR_{Produkt} <u>oder</u> sicherheitliches Ermessen	Signifikant	2
Fehlerkorrektur der Funktion (Soll-Funktion unverändert)	Unverändert	Unverändert oder Änderung führt zu niedrigerer HR_{Produkt}	Nicht signifikant	3
		Techn. Innovation <u>oder</u> Änder. führt zu höherer HR_{Produkt} <u>oder</u> sicherheitliches Ermessen	Signifikant	4
Änderung der Soll-Funktion	Dieser Fall wird im Teil 2 weiter unterteilt.			

Abbildung 13: Tabelle der Signifikanzbewertung für steuernde Systeme. Siehe [VDB10]

Abbildung 13 zeigt den ersten Teil der beschriebenen Tabelle für die Signifikanzentscheidung für steuernde Systeme. Das Verfahren für überwachende Systeme ist an dem hier beschriebenen Verfahren für überwachende Systeme angelehnt. Sicherheitliches Ermessen ist nach der in [VDB10] vertretenen Ansicht dann erforderlich, falls keine anerkannten Regeln der Technik existieren beziehungsweise von diesen abgewichen werden muss oder falls Sicherheitsziele definiert oder akzeptiert werden müssen.

Dieser hier beschriebene Vorschlag eines Verfahrens zur Signifikanzbewertung wurde von einer Arbeitsgruppe entwickelt und enthält auch Definitionen für die wesentlichen Teile der Signifikanzbewertung. Die Definition des Begriffs „Änderung“ besitzt hierbei aber nur Relevanz für den betrachteten Teilbereich und kann somit nicht verallgemeinert werden. Gleichzeitig erfolgte wie bereits erläutert eine Betrachtung der Kriterien, die wiederum nur für den Teilbereich Gültigkeit besitzt. Jedoch ist festzuhalten, dass die Relevanz der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für diesen Teilbereich in Frage gestellt wird und somit diese Kriterien nicht mit in die Signifikanzbewertung mit einbezogen werden sollen. Gleichzeitig wurde für die „Folge von Ausfällen“ in [VDB10²] festgehalten, dass dieses Kriterium nicht alleine betrachtet werden sollte, da andernfalls jede sicherheitsrelevante Änderung als signifikant eingestuft werden würde. Aus dieser Anmerkung wird nochmals deutlich, dass eine Abgrenzung der Kriterien „Sicherheitsrelevanz“ und „Folge von Ausfällen“ wie in Kapitel 3 beschrieben erforderlich ist. Eine explizite Definition des Begriffs „Signifikanz“ ist in [VDB10] und [VDB10²] nicht enthalten.

Baumaßnahmen und Instandhaltungsmaßnahmen					
TEIV (derzeitige Fassung)					BAU-STE 4.5
Neubau	Umrüstung		Erneuerung		Austausch (Instandhaltung)
	Umfangreich	Nicht umfangreich	Umfangreich	Nicht umfangreich	
IBG nach § 6	IBG nach § 6 (§ 9 (3), Anlage 3)	Keine IBG	IBG nach § 6 (§ 9 (3), Anlage 3)	Keine IBG	Keine IBG
Signifikante Änderung	Signifikante Änderung	Keine signi- fikante Änderung	Signifikante Änderung	Keine signi- fikante Änderung	Keine signi- fikante Änderung
RMV- Anwendung	RMV- Anwendung	Keine RMV- Anwendung	RMV- Anwendung	Keine RMV- Anwendung	Keine RMV- Anwendung

Abbildung 14: Betrachtung der Signifikanz von Änderungen nach TEIV. Siehe [VDB10]

Gleichzeitig wird deutlich, dass dieses Verfahren ausschließlich Änderungen in einem speziellen Teilbereich des Eisenbahnwesens untersucht. Somit kann auch dieses Verfahren selbst nicht als Vorbild für die Bewertung von Änderungen in allen Bereichen des Eisenbahnwesens dienen. Zusätzlich wird in diesem Dokument auf die TEIV eingegangen und in welcher Weise diese Verordnung den Begriff „umfangreich“ definiert. Eine umfangreiche Änderung beziehungsweise Erneuerung liegt demnach dann vor, wenn die Bau- oder Projektkosten eine Million Euro überschreiten. Unter 400.000 Euro Kosten stellt ein

Projekt keine umfangreiche Änderung dar. Zudem werden weitere Hinweise für eine umfangreiche Umrüstung oder Erneuerung erläutert. Im Folgenden wird für Neubauten, Umrüstungen, Erneuerungen sowie den Austausch von Komponenten und die Instandhaltung untersucht, ob diese Maßnahmen jeweils als signifikante Änderungen zu werten sind. Die Informationen hierzu sind in Abbildung 14 zu finden. Die Signifikanz im Bereich der Umrüstung und Erneuerung hängt hier davon ab, ob die Maßnahme umfangreich ist.

4.2.5 Signifikanz von Änderungen aufgrund relevanter Regelwerke

Im August 2012 wurde im Rahmen von NeGSt der Bericht [TÜV12] veröffentlicht, der die Signifikanz von Änderungen für den Fall betrachtet, dass die Änderung ausschließlich anhand von existierendem und bewährtem Regelwerk durchgeführt wird. Dieser Ansatz unternimmt besondere Annahmen, um hieraus spezielle Kriterien für die Vereinfachung der Signifikanzbewertung für den Bereich „Leit- und Sicherungstechnik“ (LST) abzuleiten. Unter diesem Aspekt ist dieser Ansatz mit dem Ansatz zur neuen Typzulassung aus dem vorangegangenen Abschnitt 4.2.4 vergleichbar.

In [TÜV12] wird zunächst analog zum Kapitel 3 dieser Arbeit festgehalten, dass der Begriff „Änderung“ nicht definiert ist. In Abschnitt 3.2.1 wird auf den Text des Anhangs 3 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie verwiesen, der die wesentlichen Bestandteile des Sicherheitsmanagementsystems beschreibt. Aus diesem Text, der darüber hinaus unter Ziffer (4) auch Teil der Präambel der CSM-Verordnung ist, wird abgeleitet, dass die CSM-Verordnung unter Änderungen geänderte Betriebsbedingungen sowie neues Material versteht, aus denen neue Risiken hervorgehen. Im Weiteren werden die einzelnen Kriterien der CSM-Verordnung und ihr Verständnis aus Sicht des Berichts erläutert. Auf die Prüfung der Sicherheitsrelevanz wird nicht näher eingegangen, da die innerhalb dieses Berichts betrachteten Änderungen vorab als sicherheitsrelevant eingestuft werden. Die Aufgabe der Signifikanzbewertung wird in der Überprüfung gesehen, welche Risiken durch die Änderung selbst oder die fehlerhafte Durchführung der Änderung bestehen und daher einer Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens bedürfen.

Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wird analog zu den Ausführungen in Abschnitt 3.2 so aufgefasst, dass es gemeinsam mit den weiteren Signifikanzkriterien für die Betrachtung genutzt werden soll, inwiefern eine sicherheitsrelevante Änderung sich ohne Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahren sicher verwalten lässt. Auf Grundlage der Präambel der Ziffer (4) wird ausgeführt, dass dieses Kriterium nicht die Folgen von Ausfällen des betrachteten Systems, sondern vielmehr die möglichen Folgen betrachtet, die eine fehlerhafte Durchführung der Änderung besitzt. Diese Sichtweise des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ ist laut Bericht jedoch in diesem Zusammenhang für die Betrachtung von Änderungen an Leit- und Sicherungstechnik nicht sinnvoll einsetzbar. Den Grund hierfür sieht der Bericht in den bei jeder Änderung an LST potentiell vorhandenen katastrophalen Folgen, die zu einer signifikanten Bewertung aller Änderungen innerhalb dieses Bereichs führen würde. Für alle Kriterien wird betrachtet, welche Relevanz sie für eine Änderung besitzen, die nach Regelwerk durchgeführt wird. Für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ ist eine Anwendung einer expliziten Risikoabschätzung bei der Betrachtung von Änderungen nach dem Regelwerk nicht erforderlich und somit muss in diesem Fall auch keine Betrachtung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ erfolgen. Für das Kriterium „Innovation“

wird ausgeführt, dass bei der Durchführung einer Änderung nach Regelwerk ausschließlich der Aspekt des Kriteriums zu betrachten ist, der die Erfahrung der Organisation mit der Umsetzung der Änderung betrachtet. Nach Ansicht des Berichts wird zudem in den meisten Fällen die notwendige Erfahrung innerhalb der durchführenden Organisation bei einer solchen Änderung nach Regelwerk vorliegen. Aus der Untersuchung des Kriteriums „Komplexität“ wird abgeleitet, dass für die Durchführung von Änderungen nach Regelwerk die Betrachtung relevant ist, ob das Regelwerk die Durchführung einer expliziten Risikoanalyse fordert. Dies ist nach Ansicht des Berichts erforderlich, weil Regelwerke existieren, die statt konkreter Sicherheitsanforderungen oder Regeln zur Dimensionierung eine explizite Risikoanalyse fordern können. Wird eine solche explizite Risikoanalyse nicht gefordert, befindet sich das System beziehungsweise die Änderung in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, so dass sie laut [TÜV12] nicht unter die Vorschriften der CSM-Verordnung fällt. Bezüglich der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ wird ausgeführt, dass bei der Durchführung einer Änderung anhand des Regelwerks vergleichbare Änderungen bereits erfolgreich durchgeführt wurden und diese Kriterien somit keine Relevanz besitzen. Auch besitzen LST-Anwendungen in jedem Fall eine Rückfallebene, so dass das Kriterium „Umkehrbarkeit“ nach Ansicht des Berichts bei Änderungen in diesem Bereich wenig Relevanz besitzt. Darüber hinaus besitzt auch das Kriterium „Additive Wirkung“ für diese Betrachtung keine Relevanz, da in Deutschland das Regelwerk so aufgebaut ist, dass Änderungen für sich genommen zulässig sein müssen. Somit konnte aus der Betrachtung der Kriterien für die Durchführung von Änderungen anhand des Regelwerks gezeigt werden, dass für die Bewertung der Signifikanz dieser Änderungen einerseits relevant ist, ob das angewendete Regelwerk für die Durchführung der Änderung eine explizite Risikoanalyse fordert. Andererseits ist festzuhalten, ob die betreffende Organisation Erfahrung mit der Durchführung der Änderung besitzt. Ist für die betrachtete Änderung keine Risikoanalyse durch das Regelwerk erforderlich und besitzt die Organisation zudem Erfahrung mit der Durchführung dieser Änderung, ist die Änderung somit nicht signifikant. Zusätzlich wird im Bericht die Anwendung des hergeleiteten Vorgehens auf Änderungen nach Mü8004 sowie auf Änderungen nach CENELEC diskutiert. Im Anhang von [TÜV12] wird der hier beschriebene Ansatz über eine Anwendung des Verfahrens des „Safety Scannings“ aus Abschnitt 4.1.1 verifiziert.

Die Betrachtung innerhalb dieses Berichts ermöglicht einige wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Aspekte aus Abschnitt 3.3.4. Zum einen wird der Begriff der Änderung anhand der erläuterten Präambel definiert. Zum anderen wird auch auf den Zweck der Signifikanzbewertung eingegangen. Darüber hinaus vertritt der Bericht die Einschätzung, dass das Kriterium „Folge von Ausfällen“ die möglichen Folgen eines Ausfalls der Änderung des Systems betrachtet und nicht den Ausfall des Systems selbst. Auf diese Aspekte soll im Zuge der Erläuterung des zweiten NeGSt-Berichts in Abschnitt 4.2.7 ausführlich eingegangen werden, da dieser auf den Erkenntnissen des hier betrachteten ersten NeGSt-Berichts aufbaut.

4.2.6 Verfahren der DB zur Bewertung von Änderungen

Die Deutsche Bahn (DB) hat in Anlehnung an das Verfahren der ORR aus Abschnitt 4.2.3 ein eigenes Vorgehen zur Bewertung von Änderungen entworfen, welches unter anderem in der Präsentation [GEI12] im November 2012 erläutert wurde. Dieses Vorgehen umfasst die

Beschreibung der Änderung, die Bewertung der Sicherheitsrelevanz, die anschließende Signifikanzbewertung der Änderung und zusätzlich auch Definitionen und Auslegungen der Kriterien sowie weiterer zentraler Begriffe. Dieses Verfahren wird laut [HOL13²] grundsätzlich in allen Bereichen der DB AG angewendet und ist Teil des Handbuchs „Ril 451“ für Risikomanagement. Lediglich die Dokumentationsunterlagen sind dabei an den jeweiligen Zweck des Geschäftsbereichs angepasst.

Als Ausgangsbasis wird in [GEI12] zunächst definiert, dass eine Änderung eine „Veränderung des durch Sollzustände definierten Systems“ darstellt. Damit müssen alle Abweichungen hiervon anhand des im Weiteren beschriebenen Verfahrens betrachtet werden. Der nächste Schritt ist die Bewertung der Sicherheitsrelevanz. Die Definition des Begriffs Sicherheitsrelevanz erfolgt dabei mit Hilfe der Klärung, was als nicht sicherheitsrelevant gilt. Nicht sicherheitsrelevant sind demnach alle Änderungen, „die ersichtlich keinen Personenschaden verursachen können“. In diesem Fall hat analog zu den Vorschriften keine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens zu erfolgen. Können durch die Änderung verursachte Personenschäden nicht eindeutig ausgeschlossen werden, muss eine Signifikanzbewertung der Änderung erfolgen. Das Verfahren der DB orientiert sich hier an den in den Vorschriften beschriebenen Kriterien. Da die DB kritisiert, dass die gesamten CSM-Vorschriften zur Evaluierung und Bewertung von Risiken einige unscharfe Begriffe enthalten, versucht sie für das hier vorgestellte Verfahren neben den Begriffen der Änderung und der Sicherheitsrelevanz auch die Kriterien für die Signifikanzbewertung im Sinne der Vorschriften zu interpretieren.

Kriterium	Interpretation der DB	Beschreibung der Kategorien	
Folge von Ausfällen	Betrachtung der Unfallfolgen des Szenarios mit dem schlechtesten anzunehmenden Ausgang, das noch plausibel ist, wobei die bestehenden Sicherheitsmaßnahmen mit in die Betrachtung einfließen sollen. Unterschieden wird bei den vier möglichen Ausprägungen nach technischen und betrieblichen Änderungen sowie organisatorischen Änderungen auf der anderen Seite.	minimal	Leichte Verletzungen bei einem Ausfall des Systems möglich. Bei organisatorischen Änderungen ist eine geringfügige Beschädigung des Systems oder seiner Funktionen möglich.
		gering	Schwere Verletzungen bei einzelnen Personen bei einem Ausfall des Systems möglich. Bei organisatorischen Änderungen sind schwere Beschädigungen des Systems oder seiner Funktionen möglich.
		mittel	Schwere Verletzungen bei vielen Personen oder einzelne Tote bei einem Ausfall des Systems möglich. Bei organisatorischen Änderungen ist ein Verlust des Systems oder seiner Funktionen möglich.
		hoch	Es sind viele Tote bei einem Ausfall des Systems möglich. Bei organisatorischen Änderungen ist ein Verlust des Systems oder seiner Funktionen möglich.
Innovation	Betrachtung des Innovationsgrades der Änderung aus Sicht des Eisenbahnsektors und zusätzlich auch aus der Sicht der Organisation, welche die Änderung durchführt.	gering	Die Änderung verfügt nur über wenige oder keine neuen Elemente für das Eisenbahnsystem bzw. die Organisation.
		hoch	Die Änderung verfügt über wichtige oder mehrere neuen Elemente für das Eisenbahnsystem bzw. die Organisation.
Komplexität	Die Komplexität wird so abgeschätzt, dass zunächst die Zahl der von der Änderung betroffenen Teilsysteme betrachtet werden soll. Im Weiteren soll die Zahl der Prozessbeteiligten mit in die Betrachtung einfließen. Zusätzlich fließt auch die Anzahl der Schnittstellen ein, die durch die Änderung zum Betrieb oder anderen Teilsystemen geschaffen werden müssen.	gering	Die Änderung verfügt über keine oder nur wenige komplexe Elemente und die Änderung ist einfach.
		hoch	Die Änderung verfügt über viele komplexe Elemente und ist daher komplex.
Überwachbarkeit	Die Überwachbarkeit bewertet nach Auffassung der DB die Fähigkeit des bestehenden Systems vor, während und nach der Durchführung der Änderung die Auswirkungen dieser Änderung zu beobachten und gegebenenfalls eingreifen zu können. Betrachtet werden soll hierbei, ob die Umsetzung der Änderungen durch Verfahren der Qualitätssicherung bzw. des SMS überwacht werden. Gleichzeitig soll betrachtet werden, ob nach der Änderung die ggf. neu entstandenen Funktionen mit existierenden Verfahren überwacht werden können. Hierbei soll zudem betrachtet werden, ob eine besondere Überwachung erforderlich und möglich ist.	gering	Das geänderte System kann nicht oder nur unzureichend über den gesamten Lebenszyklus überwacht werden, so dass ein geeignetes Eingreifen nicht gewährleistet ist.
		hoch	Das geänderte System kann umfassend über den gesamten Lebenszyklus überwacht werden, so dass ein geeignetes Eingreifen möglich ist.
Umkehrbarkeit	Das Kriterium Umkehrbarkeit bewertet, ob das geänderte System in den Zustand vor der Änderung mit einem akzeptablen Aufwand zurückgeführt werden kann. Gleichzeitig soll berücksichtigt werden, ob die Änderung in Schritten eingeführt werden kann oder ob ein Parallelbetrieb möglich ist. Zusätzlich sollte in die Bewertung einfließen, ob es einen klar definierten und überwachbaren Zeitpunkt gibt, an dem die Änderung nicht mehr umkehrbar ist.	umkehrbar	Es ist möglich, die Änderung mit einem vertretbaren Aufwand rückgängig zu machen.
		nicht umkehrbar	Es ist nicht möglich, die Änderung mit einem vertretbaren Aufwand rückgängig zu machen.

Tabelle 21: Beschreibung der Kriterien des DB-Verfahrens

In der Tabelle 21 wird beschrieben, wie die Kriterien von der DB interpretiert werden und wie die Kategorien der einzelnen Kriterien aussehen. Das Kriterium „Additive Wirkung“ wird so

aufgefasst, dass es sich hierbei um kein Kriterium im eigentlichen Sinne, sondern um eine Abgrenzung der Systemdefinition handelt. Diese Auffassung deckt sich mit dem in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Verständnis für dieses Kriterium, welches sich aus den offiziellen Dokumenten der ERA herleiten lässt. Die Signifikanzbewertung der Änderung beginnt mit der Einschätzung der Änderung in eine der vier möglichen Kategorien des Kriteriums „Folge von Ausfällen“. Diese Einschätzung erfolgt im Gegensatz zum ORR-Verfahren nicht anhand der Schadenskategorien der EN 50126, sondern anhand von vier Kategorien, denen ein möglicher Personenschaden zugeordnet ist. Gleichzeitig sind für organisatorische Änderungen mögliche Auswirkungen für das System und seine Funktionen beschrieben.

Im folgenden Schritt werden die Kategorien der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ eingeschätzt. Diese werden wie im ORR-Verfahren zu einem Kriterium zusammengefasst, welches als „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“ bezeichnet ist. Dies stellt einen Unterschied zum ORR-Verfahren dar, da innerhalb dieses Verfahren von der „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ gesprochen wird. Die Erläuterungen in [ORR10] machen diesbezüglich deutlich, dass anhand der beiden Kriterien „Komplexität“ und „Innovation“ vielmehr eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit zu treffen ist, dass die beabsichtigte Änderung sich wie vorhergesagt verhält. Das betrifft also nicht explizit nur die Ausfallfolgen. Diese Interpretation in [ORR10] ergibt zudem auch hinsichtlich der Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix Sinn, da eine ausschließliche Betrachtung der Unsicherheit hinsichtlich der Ausfallfolgen die gesamte Matrix in Frage stellen würde. Die Beschreibung im DB-Verfahren legt nahe, dass eine hohe „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“ direkt die Einteilung der X-Achse mit den Ausfallfolgen beeinflusst anstatt wie beabsichtigt eine eigenständige Dimension mit Hilfe der Y-Achse zu bilden. Darüber hinaus wird im DB-Verfahren im Gegensatz zum ORR-Verfahren beschrieben, wie aus den beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ eine der vier Kategorien der „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“ resultiert. Um mit den beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ vier mögliche Kategorien zu erhalten, sind die beiden Kriterien unterschiedlich stark gewichtet.

Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen	hoch				
	mittel				
	gering				
	minimal				
		minimal	gering	mittel	hoch
		mögliche Ausfallfolgen			

Abbildung 15: Signifikanzmatrix des DB-Verfahrens. Siehe [GEI12]

Mit Hilfe der „möglichen Ausfallfolgen“ sowie der „Unsicherheit der Aussage über mögliche Aussagen“ mit ihren jeweils vier möglichen Kategorien enthält man eine Matrix mit 16 Feldern. Wie im Verfahren der ORR sind diese Felder entweder grün, gelb oder rot eingefärbt. Den Farben sind dabei die Einschätzungen „nicht signifikant“, „unscharfe Signifikanzgrenze“ und „signifikant“ zugeordnet. Nach der Anwendung der Kriterien erhält der Anwender damit eine eindeutige Zuordnung zu einem Feld in dieser Matrix, die im DB-Verfahren die Bezeichnung „Initialpunkt“ trägt. Die Matrix ist in Abbildung 15 dargestellt und entspricht dabei bis auf die Achsenbezeichnungen der in Abbildung 11 dargestellten Entscheidungsmatrix des ORR-Verfahrens, so dass auch in diesem Punkt die Anlehnung an dieses Verfahren deutlich wird. Im DB-Verfahren trägt diese Matrix die Bezeichnung „Signifikanzmatrix“. Gelangt der Anwender nach der Bewertung der „möglichen Ausfallfolgen“ sowie der „Unsicherheit der Aussage“ zu einem Initialpunkt, der im grünen Bereich liegt, steht die Einschätzung der Änderung als nicht signifikant fest und es muss keine Anwendung der verbleibenden zwei Kriterien erfolgen. Liegt ein Initialpunkt im roten Bereich, gilt die Änderung als signifikant und es muss eine Anwendung des CSM-Risikomanagementverfahrens erfolgen. Liegt der Initialpunkt im gelben Bereich, muss eine Bewertung der beiden verbleibenden Kriterien „Überwachbarkeit“ sowie „Umkehrbarkeit“ erfolgen. Das Ergebnis der Einschätzung der beiden Kriterien sorgt dafür, dass die gelben Bereiche entweder dem grünen „nicht signifikanten“ Bereich oder dem roten „signifikanten“ Bereich zugeschlagen werden. Ist die Überwachbarkeit der Änderung hoch und die Umkehrbarkeit gegeben, werden alle gelben Felder dem grünen „nicht signifikanten“ Bereich zu geschlagen. Ist hingegen die Überwachbarkeit gering und die Umkehrbarkeit nicht mit einem akzeptablen Aufwand möglich, werden die gelben Felder dem roten „signifikanten“ Bereich zugeschlagen. Liegt eine gemischte Ausprägung der beiden Kriterien vor, so dass ein Kriterium als hoch und das andere als gering eingeschätzt wird, werden die drei an den roten Bereich grenzenden gelben Felder dem roten „signifikanten“ Bereich zugeschlagen. Die vier an den grünen Bereich grenzenden Felder werden dann dementsprechend dem grünen „nicht signifikanten“ Bereich zugeschlagen. Auf diese Weise sind letztendlich keine gelben Felder mehr vorhanden, so dass auch für eine Änderung, die zunächst im gelben Bereich lag, nun eine eindeutige Einschätzung „signifikant“ oder „nicht signifikant“ vorhanden ist.

Aus der Betrachtung des Verfahrens wird deutlich, dass es sich beim DB-Verfahren bezüglich der Anwendung um eine Weiterentwicklung des ORR-Verfahrens handelt. Bei der Betrachtung des ORR-Verfahrens in Abschnitt 4.2.3 waren die beiden wesentlichen Kritikpunkte an diesem Verfahren, die fehlende Zuordnung der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ zur „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen“ sowie die unklare Rolle der beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“. Das DB-Verfahren adressiert diese beiden Kritikpunkte am ORR-Verfahren über eine Gewichtung der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ sowie der Einbindung der beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ in die Signifikanzbewertung mittels der Signifikanzmatrix. Neben diesen Ergänzungen zum ORR-Verfahren wird in [GEI12] analog zu Kapitel 3 festgestellt, dass mehrere undefinierte Begriffe im Rahmen der Signifikanzbewertung existieren. Hierzu versucht das Dokument die Begriffe Änderung, Sicherheitsrelevanz sowie Signifikanz zu erläutern. Eine Änderung ist aus Sicht der DB AG eine „Veränderung des durch Sollzustände definierten Systems“, so dass jede Abweichung von diesem definierten System eine Änderung

darstellt. Im Weiteren wird die Sicherheitsrelevanz mit Hilfe der Definition der Sicherheit eines Systems aus [EUK09] betrachtet, wonach „Sicherheit die Abwesenheit von unvermeidbaren Schadensrisiken“ darstellt. Weiter wird ausgeführt, dass die menschliche Gesundheit der Bezugspunkt für den betrachteten Schaden darstellt. Aus diesen beiden Überlegungen heraus wird geschlossen, dass eine Änderung in diesem Fall nicht sicherheitsrelevant ist, falls durch sie ersichtlich kein Personenschaden verursacht werden kann. Die unterste Kategorie „minimal“ des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ in Tabelle 21 liegt dann vor, wenn leichte Verletzungen bei Personen durch den Ausfall des Systems möglich sind. Hieraus ist zu erkennen, dass die Sicherheitsrelevanz untersucht, ob überhaupt ein Personenschaden durch die Änderung möglich ist. Im Gegensatz dazu betrachtet das Kriterium „Folge von Ausfällen“ nicht die Möglichkeit, sondern die genaue Form des Personenschadens durch einen Ausfall des Systems, der sich auf die Änderung zurückführen lässt. Eine nicht sicherheitsrelevante Änderung wäre demnach noch unterhalb dieser Kategorie „Minimale Folge von Ausfällen“ einzuordnen. Dieser Umstand ließe demnach keine Zuordnung einer solchen Änderung zu den vier Kategorien des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ und damit auch keine Anwendung der Signifikanzmatrix und des gesamten Verfahrens zu. Aus diesem Grund würde die Anwendung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung auf eine nicht sicherheitsrelevante Änderung dazu führen, dass diese Änderung in jedem Fall als nicht signifikant eingestuft wird. Auf diese Weise wird innerhalb dieses Verfahrens die in Kapitel 3.3.4 beschriebene Problematik einer fehlenden Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz von der „Folge von Ausfällen“ gelöst.

Gleichzeitig wird wie bei den beiden NeGSt-Berichten auch im DB-Verfahren die Präambel der CSM-Verordnung berücksichtigt. Eine Änderung, die mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung betrachtet werden muss, liegt dann vor, wenn bestehende Betriebsbedingungen geändert werden oder neues Material zum Einsatz kommt. Andernfalls kann von einer Betrachtung der Änderung mit dem harmonisierten Risikomanagementverfahren abgesehen werden. Auch handelt es sich um keine relevante Änderung für die CSM-Verordnung, wenn vorhandenes Regelwerk zum Einsatz kommt. Bezüglich Verfahren und Prozessen verfolgt die DB AG nach [HOL13] die Auffassung, dass eine relevante Änderung nur dann vorliegt, wenn Verfahren oder Prozesse neugestaltet oder weiterentwickelt werden beziehungsweise falls sie komplett entfallen. Eine Änderung ist auch dann relevant, wenn Verfahren oder Prozesse, die bereits bewertet worden sind, unter anderen Systembedingungen oder in einer neuen Kombination zum Einsatz kommen.

Zudem versucht das DB-Verfahren eine Definition für die „Signifikanz der Änderung“ zu liefern. Hierbei verfolgt das DB-Verfahren ähnlich wie das in Abschnitt 4.1.2 erläuterte Interpretationspapier des BMAS zur Klärung des Begriffs der „Wesentlichkeit“ bei Änderungen an technischen Anlagen und Maschinen den Ansatz, die Definition des Begriffs anhand eines Verfahrens vorzunehmen. Die notwendige Voraussetzung hierfür ist, dass das Verfahren eine eindeutige Einschätzung hinsichtlich der Signifikanz der Änderung liefert und der Anwender des Verfahrens nicht auf das Verständnis des Zwecks der Signifikanzbewertung angewiesen ist. Aus diesem Grund darf das Verfahren keine Interpretationsspielräume besitzen, die eines solchen Verständnisses bedürfen. Wie bereits eingangs erläutert, umgeht das DB-Verfahren die Probleme, die im ORR-Verfahren in diesem Zusammenhang noch bestanden haben. Zusätzlich versucht das Verfahren, die

Interpretationsspielräume bei der Anwendung des Verfahrens möglichst gering zu halten, indem eine genaue Beschreibung jedes Kriteriums und seiner existierenden Kategorien vorliegt. Der einzige Interpretationsspielraum in der Bewertung der betrachteten Änderung durch die Auswahl der Kategorien der Signifikanzkriterien. Liegt die Auswahl der Kategorien für alle Kriterien vor, kann hieraus eine eindeutige Einschätzung der Signifikanz der Änderung ermittelt werden.

Kriterium	Ausprägung	Punktwert	zugehörige Kombination
Innovation	niedrig	0 Punkte	-
	hoch	2 Punkte	
Komplexität	niedrig	0 Punkte	
	hoch	1 Punkt	
Unsicherheit der Einschätzung	minimal	0 Punkte	niedrige Innovation & niedrige Komplexität
	gering	1 Punkt	niedrige Innovation & hohe Komplexität
	mittel	2 Punkte	hohe Innovation & niedrige Komplexität
	hoch	3 Punkte	hohe Innovation & hohe Komplexität

Tabelle 22: Ermittlung der Unsicherheit der Einschätzung

Damit im Gegensatz zum ORR-Verfahren anhand der vorliegenden Kategorien eine eindeutige Einschätzung der Signifikanz mit dem Verfahren möglich wird, ist zum einen eine Gewichtung der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ erforderlich. Diese Gewichtung wird notwendig, um mit Hilfe von zwei Kriterien vier unterschiedliche Kategorien erhalten zu können. Wären beide Kriterien gleich gewichtet, würden nur drei unterschiedliche Kategorien vorliegen. Dies liegt daran, dass sich die Kombination der Einschätzung „hohe Innovation“ und „niedrige Komplexität“ bei einer Gleichgewichtung beider Kriterien nicht von der Kombination „niedrige Innovation“ und „hohe Komplexität“ unterscheiden würde. Aus diesem Grund wurde das Kriterium „Innovation“ stärker gewichtet als das Kriterium „Komplexität“. Dies bedeutet, dass die Kombination „hohe Innovation“ und „niedrige Komplexität“ zur „mittleren Unsicherheit der Abschätzung“, also der zweithöchsten Einschätzung führt. Im Gegensatz dazu führt die Einschätzung „hohe Komplexität“ und „geringe Innovation“ zum Ergebnis „geringe Unsicherheit der Einschätzung“. Die hier beschriebene Ermittlung der Ausprägung der „Unsicherheit der Einschätzung“ ist in Tabelle 22 dargestellt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der Punktwert für die Einschätzung „hohe Innovation“ mit dem Wert 2 doppelt so hoch wie der Punktwert für die Einschätzung „hohe Komplexität“ ist. Damit ist das Kriterium „Innovation“ in diesem Verfahren der DB stärker gewichtet als das Kriterium „Komplexität“. Gleichzeitig erfolgt eine Einbindung der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ in die Anwendung der Signifikanzmatrix. Somit ist festzuhalten, dass mit dem DB-Verfahren erstmals ein Verfahren vorliegt, das die risikobasierten sowie die qualitativen Kriterien der CSM-Verordnung in einem Verfahren vereint und gleichzeitig außer der erforderlichen Einschätzung der einzelnen Kriterien keinen Interpretationsspielraum bietet.

Die Zuordnung der Kategorien der Kriterien zu Punktwerten lässt erkennen, dass die grafische Anwendung des Verfahrens mit Hilfe der Eintragung des Initialpunktes in die Signifikanzmatrix und die gegebenenfalls erforderliche Zuordnung des gelben Bereichs zum grünen „nicht signifikanten“ oder zum roten „signifikanten“ Bereich durch ein reines Punkteschema ersetzt werden kann. Dieses Punkteschema ist in Anhang 8.2.5 ausführlich

beschrieben. Liegt die Bewertung der Kriterien für die betrachtete Änderung vor, lassen sich den jeweils gewählten Kategorien Punktwerte zuordnen. Die Signifikanzbewertung kann daraufhin ohne grafische Anwendung der Signifikanzmatrix mittels der Formel (4) erfolgen.

$$(4) \quad x_{Ausfallf.} + x_{Inno.} + x_{Kompl.} + x_{Umk.} + x_{Überw.} \begin{matrix} < 6 & \text{nicht signifikant} \\ \geq 6 & \text{signifikant} \end{matrix}$$

mit

x_i Punktwert der gewählten Kategorie des jeweiligen Kriteriums

Hier wird deutlich, dass das DB-Verfahren zwar eine Verbindung der risikobasierten und qualitativen Kriterien herstellt, welches darüber hinaus zu einer eindeutigen Bewertung der Signifikanz bei vorliegender Bewertung der Kriterien kommt. Jedoch geschieht dies über eine implizite Gewichtung der einzelnen Kriterien, die keinerlei wissenschaftliche Begründung besitzt. Beispielsweise ist aus Tabelle 22 zu erkennen, dass das Kriterium „Innovation“ doppelt so hoch wie das Kriterium „Komplexität“ gewichtet ist. Neben der fehlenden Begründung der Gewichtung fehlt auch eine Begründung, warum eine Änderung dann signifikant ist, wenn die Addition aller Punktwerte der jeweils vorliegenden Kategorien den Wert 6,0 oder größer besitzt. Zudem ist die im DB-Verfahren gewählte Übersetzung und Erläuterung der ursprünglichen als „Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung“ im ORR-Verfahren bezeichneten Y-Achse fragwürdig und raubt dem Verfahren die wesentliche Begründung dafür, die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ sowie das Kriterium „Folgen von Ausfällen“ in einer Matrix zusammenzufassen. Darüber hinaus macht dieses Verfahren wie das ORR-Verfahren vier Kategorien für das Kriterium „Folge von Ausfällen“ erforderlich, was bei der Bewertung von Änderungen laut [HOL13] zu Problemen bei der richtigen Zuordnung der Änderung zu einer der vier Kategorien führen kann.

4.2.7 Verfahren zur Signifikanzbewertung anhand einer Ausfallfolgen- Unsicherheits-Matrix

Im April 2013 wurde im Rahmen des Projekts NeGSt ein zweiter Bericht zur Signifikanzbewertung von Änderungen veröffentlicht (vgl. Abschnitt 4.2.5). Dieser Bericht [TÜV13] verfolgt das Ziel, bereits bestehende Ansätze der ORR sowie der DB AG, die eine Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix zur Signifikanzbewertung von Änderungen einsetzen, auf Änderungen an signaltechnischen Systemen zu übertragen. Die Ansätze der ORR sowie der DB AG sind innerhalb dieser Arbeit in Abschnitt 4.2.3 sowie Abschnitt 4.2.6 betrachtet worden.

Der Begriff der Änderung wird innerhalb dieses Berichts analog zum Vorgehen des ersten NeGSt-Berichts in Abschnitt 4.2.5 anhand der Präambel Nummer (4) der CSM-Verordnung definiert. Es wird in diesem Zusammenhang im Vergleich zum ersten NeGSt-Bericht zusätzlich argumentiert, dass die Signifikanzbewertung über die Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens entscheidet. Ergeben sich aus geänderten Betriebsbedingungen oder neuem Material keine neuen Risiken und werden auch keine bestehenden Risiken verändert, existieren somit keine geänderten oder neuen Risiken, die mit dem harmonisierten Risikomanagementverfahren zu betrachten wären. Vor diesem Hintergrund wird weiter argumentiert, dass eine Anwendung von in der Vergangenheit bereits

erfolgten Prozeduren somit keine Änderung im Sinne der CSM-Verordnung ist, da in diesem Fall keine geänderten Betriebsbedingungen vorliegen.

In [TÜV13] wird zunächst die Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix erläutert, die auch im Rahmen der Betrachtung des DB-Verfahrens in Abschnitt 4.2.6 beschrieben wurde und in Abbildung 15 dargestellt ist. Die Y-Achse dieser Matrix trägt im Unterschied zum DB-Verfahren die Bezeichnung „Unsicherheit der Folgenabschätzung“. Zudem wird erläutert, dass durch die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ eine Einschätzung darüber getroffen werden soll, welche Unsicherheit bezüglich der Durchführung der Änderung besteht. Diese Auslegung entspricht der ursprünglichen Definition im ORR-Verfahren und verfügt somit nicht über die erläuterten Probleme des DB-Verfahrens bezüglich dieses Aspekts. Darüber hinaus wird im Bericht beschrieben, dass die Bewertung innerhalb dieses Verfahren durch eine Anwendung eines Punkteschemas ersetzt werden kann. Dieses Punkteschema des DB-Verfahrens ist in Anhang 8.2.5 beschrieben. Auf diesen Aspekt ist auch im Rahmen der Betrachtung des DB-Verfahrens in Abschnitt 4.2.6 eingegangen worden. Im Weiteren erfolgt im Bericht eine Betrachtung der einzelnen Kriterien, die im Rahmen der Anwendung des Verfahrens zu bewerten sind. Die einzelnen Kriterien entsprechen dabei den in Tabelle 21 dargestellten Kriterien des DB-Verfahrens, wobei die jeweils vorhandenen Einstufungen so angepasst wurden, dass sie den Besonderheiten der Betrachtung von Änderungen im Bereich der LST Rechnung tragen. Die Prüfung der Sicherheitsrelevanz wird nicht eingehend betrachtet, da davon ausgegangen wird, dass im Rahmen dieses Vorgehens alle Änderungen sicherheitsrelevant sind. Bezüglich des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ wird analog zu [TÜV12] erläutert, dass eine Anwendung dieses Kriteriums im Sinne der Verordnung nicht sinnvoll ist, da Änderungen an LST anhand dieser Auslegung des Kriteriums immer signifikant sind. Der Bericht legt für die Zuordnung der betrachteten Änderung zu den vier Einstufungen des Kriteriums „Ausfallfolgen der Änderung“ den SIL zu Grunde, über den das betrachtete System verfügt. Hierzu wird erläutert, dass der SIL auf Grundlage einer Risikoanalyse ermittelt wurde, die Ausfallfolgen und darüber hinaus auch Risikoreduktionsfaktoren berücksichtigt und somit einen Bezug zu der Definition des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ in der CSM-Verordnung besitzt. Für ein neues System kann laut Bericht anhand der EN 50126 eine Ausfallfolgenabschätzung erfolgen. Liegt für das betrachtete System kein SIL vor, kann laut [TÜV13] die Einstufung wie im DB-Verfahren anhand der Schadensfolgen nach EN 50126 erfolgen.

Zusätzlich zum neuen Ansatz, den SIL des betrachteten Systems für die Einstufung der „Ausfallfolgen der Änderung“ zu nutzen, wurde das Kriterium „Innovation“ um eine dritte mittlere Einstufung ergänzt. Als Begründung für diesen Schritt wird angeführt, dass bestimmte Änderungen in der LST existieren, die zwar innovative Aspekte für den Eisenbahnsektor besitzen, jedoch in anderen Bereichen bereits erfolgreich eingesetzt werden. In diesem Fall ist nach Ansicht des Berichts eine zusätzliche mittlere Einstufung sinnvoll, da ansonsten aufgrund des vorhandenen Punkteschemas eine innovative SIL4-Anwendung, ohne dass sie eine hohe Komplexität besitzt, automatisch als signifikant eingestuft wird. Trotz dieser Ausführungen für die Notwendigkeit einer zusätzlichen mittleren Einstufung wurde bei der Anwendung des Verfahrens auf mehrere Beispiele innerhalb dieses Berichts von dieser zusätzlichen Einstufung kein Gebrauch gemacht. Bezüglich der Komplexität der Änderung wird beschrieben, dass für die Bewertung vor allem die Anzahl der betroffenen Teilsysteme

sowie auch die Anzahl der vorhandenen Schnittstellen relevant ist. Das Verständnis hinsichtlich dieses Kriteriums im NeGSt-Bericht ist mit dem Verständnis innerhalb des DB-Verfahrens für dieses Kriterium vergleichbar. Bezüglich der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ wird dieselbe Argumentation wie in [TÜV12] verfolgt und für die Erläuterung der Einstufungen der beiden Kriterien genutzt. Diese Argumentation entspricht wiederum der Erläuterung, die auch in dem in Abschnitt 4.2.4 beschriebenen Verfahren zur Bewertung von Änderungen im Bereich der ZZS verfolgt wurde, wonach die „Überwachung“ und die „Umkehrbarkeit“ in der Regel gegeben sind. Nach der Beschreibung der vorgenommenen Anpassungen am DB-Verfahren werden im Bericht Beispielanwendungen des Verfahrens erläutert. Zum einen sind hierfür unterschiedliche Systeme der LST betrachtet worden, für die entweder eine Funktion neu eingeführt wird oder eine bestehende Funktion geändert wird. Darüber hinaus werden die Änderung von bestehender Technik sowie die Fehlerbehebung als weitere Formen von Änderungen betrachtet. Für diese Änderungen sind nun innerhalb einer Tabelle in [TÜV13] die Einstufung der verschiedenen Kriterien anhand des erläuterten Punkteschemas und die daraus resultierende Einschätzung der Signifikanz dargestellt. Weiterhin enthält die Tabelle die zusätzlichen Informationen, ob das Lastenheft oder die Risikoanalyse geändert werden muss. Diesbezüglich argumentiert der Bericht, dass die Betrachtung, ob eine Änderung der Risikoanalyse oder des Lastenhefts erforderlich ist, einen guten Hinweis auf die Innovation und Komplexität dieser Änderung liefert. Dies ist im Rahmen der Anwendung dieses Verfahrens von Bedeutung, da eine geringe Innovation und eine geringe Komplexität zu einer „Unsicherheit der Folgenabschätzung“ mit der Einstufung „minimal“ führen, die in jedem Fall eine nicht signifikante Änderung zur Folge hat. Die zweite Beispielanwendung betrachtet eine Schnittstellenänderung für die eine Anwendung des erläuterten Verfahrens erfolgt. Dieses Ergebnis des Verfahrens wird im Weiteren mit dem Ansatz überprüft, der in [TÜV12] entwickelt wurde. Das übereinstimmende Ergebnis beider Betrachtung ist, dass diese Änderung einer Schnittstelle als nicht signifikant eingestuft wird.

Zunächst hat die Untersuchung dieses Verfahrens die Erkenntnis erbracht, dass dieser zweite NeGSt-Bericht eine Definition des Begriffs „Änderung“ enthält, der aus der erläuterten Präambel der CSM-Verordnung hergeleitet wird. Die genaue Betrachtung dieser Definition im Vergleich zur Definition des DB-Verfahrens soll in Kapitel 5 erfolgen. Auch die im Bericht enthaltene Auffassung bezüglich des Zwecks der Signifikanzbewertung sowie das Verständnis des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ sollen in Kapitel 5 näher untersucht werden. Das NeGSt-Verfahren baut wie erläutert auf dem DB-Verfahren auf und betrachtet speziell Änderungen an der LST im Eisenbahnwesen. Dafür nimmt das Verfahren im Wesentlichen zwei Anpassungen am DB-Verfahren vor. Zum einen werden den Kategorien der „Folge von Ausfällen“ SIL-Werte zugeordnet. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass, falls keine SIL-Werte vorliegen, eine Betrachtung der Ausfallfolgen anhand der Kategorien der EN 50126 wie im ORR-Verfahren erfolgen kann. Hiermit umgeht das hier beschriebene Verfahren die Probleme, die bei der Zuordnung der Änderung zu einer der vier Kategorien des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ bestehen können. Jedoch ist eine solche Zuordnung der Kategorien zu SIL-Werten ausschließlich für technische Änderungen an Systemen möglich, für die SIL-Werte vorliegen oder eine Betrachtung anhand der Kategorien der EN 50126 möglich ist. Zudem wird begründet, warum im Unterschied zum DB-Verfahren das Kriterium „Innovation“ über eine dritte mittlere Kategorie verfügen sollte. Neben diesen

Anpassungen am Verfahren erfolgt eine Anpassung der Beschreibung der Kategorien für den Zweck der Bewertung von Änderungen in der LST. Hierbei ist hervorzuheben, dass der Bericht die Ansicht vertritt, dass durch die in der Regel vorhandene Rückfallebene in Bereich der LST das Kriterium „Umkehrbarkeit“ keine Relevanz besitzt. Nur falls eine solche Rückfallebene nicht existiert, wäre nach [TÜV13] die Umkehrbarkeit der Änderung nicht gegeben. Zusätzlich wird für das Kriterium „Überwachung“ erläutert, dass in der LST in der Regel wirksame Prozesse und Methoden zur Qualitätssicherung existieren und daher von einer guten Überwachung der Änderung ausgegangen werden kann. Neben den Besonderheiten für die beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ wird für Änderungen in der LST zusätzlich davon ausgegangen, dass eine Sicherheitsrelevanz in jedem Fall vorliegt. Wie im DB-Verfahren wird jedoch die vorhandene Gewichtung der Kriterien nicht begründet. Auch erfolgt keine Begründung für den Aspekt, ab welchem Punktwert eine Änderung als signifikant eingestuft wird. Im Gegensatz zum ORR-Verfahren und zum DB-Verfahren werden innerhalb des NeGSt-Berichts auch Beispiele anhand des Verfahrens bewertet. Das Besondere an diesen Beispielen ist, dass die jeweilige Signifikanzbewertung, die die Anwendung des Verfahrens liefert, nochmals unabhängig davon auf ihre Plausibilität geprüft wurde. Dazu wurde zum einen betrachtet, ob eine Änderung des Lastenheftes oder eine Änderung der Risikoanalyse für die jeweilige Änderung erforderlich ist. Gleichzeitig fand nach Aussage von [BRA13] eine Expertendiskussion über die Signifikanz der Änderungen statt, die zum Ergebnis hatte, dass die getroffenen Einschätzungen plausibel sind.

4.2.8 Erkenntnisse aus der Betrachtung der Verfahren und Ansätze

Die Betrachtung der Verfahren hat gezeigt, dass drei unterschiedliche Arten von Verfahren im Bereich der Signifikanzbewertung existieren. Zum einen sind dies die risikobasierten Verfahren, die die Signifikanzbewertung abhängig von einer Risiko- beziehungsweise Gefährdungsbetrachtung machen. Zu diesem Bereich ist das ÖBB-Verfahren zu zählen, das betrachtet, ob mit der Änderung solche Gefährdungen verbunden sind, die Auswirkungen auf relevante Unfälle besitzen. Anhand einer Risikomatrix erfolgt dann eine Einstufung der Signifikanz. Des Weiteren existieren Verfahren, die eine Signifikanzbewertung anhand einer Matrix vornehmen, in die zum einen eine risikobasierte Betrachtung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ einfließt. Zum anderen werden hier die qualitativen Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ dazu genutzt, um zusätzlich die Unsicherheit hinsichtlich der Einschätzung in der Matrix abzubilden. Dabei unterscheidet sich das DB-Verfahren in seiner Interpretation vom Verfahren der ORR und der DB AG. Die beiden letztgenannten Verfahren betrachten Unsicherheit hinsichtlich der Folgen der Änderung beziehungsweise der Durchführung der Änderung. Im Gegensatz dazu bewertet das DB-Verfahren ausschließlich die Unsicherheit hinsichtlich der getroffenen Aussagen über die Ausfallfolgen. Schließlich fließen in allen drei Verfahren auch die beiden qualitativen Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“, die die Eigenschaften der Umsetzung der Änderung beschreiben, in die Bewertung mit ein. Im ORR-Verfahren ist jedoch nicht beschrieben, wie diese beiden Kriterien zu berücksichtigen sind. Das SBB-Verfahren stellt eine Mischung der bisher aufgezählten Verfahren dar. Die Grundlage dieser Bewertung ist eine Untersuchung der betroffenen Gefährdungsszenarien. Dabei soll die Signifikanzbewertung an einer qualitativen Einschätzung des Schadensausmaßes festgemacht werden. Zusätzlich sollen in diese

risikobasierte Betrachtung jedoch auch die qualitativen Kriterien „Komplexität“ und „Innovation“ miteinbezogen werden. Eine Erläuterung des hier anzuwendenden Vorgehens wird in diesem Zusammenhang nicht gegeben. Dem dritten Bereich sind die Verfahren zuzuordnen, die Änderungen unter der Annahme spezieller Voraussetzungen betrachten und versuchen, aus dieser Betrachtung heraus Schlüsse auf die Signifikanzbewertung zu ziehen, die gegebenenfalls zu einer Vereinfachung führen. Hierzu sind die Verfahren zur Bewertung von Änderungen im Bereich der ZZS aus Abschnitt 4.2.4 sowie das Verfahren des NeGSt-Berichts [TÜV12] zu zählen, das Änderungen auf Grundlage relevanter Regelwerke betrachtet. Die Verfahren aus diesem dritten Bereich können aber aufgrund ihrer Betrachtung von Teilbereichen des Eisenbahnwesens kein Vorbild für ein allgemeingültiges Verfahren sein.

Die Untersuchung der Ansätze und Verfahren hat gezeigt, dass kein rein qualitatives Verfahren für die Signifikanzbewertung existiert. Jedoch konnte in [MIL11] und in [PET09] gezeigt werden, dass die Signifikanzbewertung anhand des qualitativen Verfahrens des „Safety Scannings“ möglich ist. Zusätzlich ist hierfür eine Interpretation der Ergebnisse des „Safety Scannings“ hinsichtlich der Aussage erforderlich, ob die Änderung Signifikanz besitzt. Dies erfordert wiederum eine wissenschaftliche Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Signifikanz und den Ergebnissen des „Safety Scannings“. Zudem erfolgt innerhalb des „Safety Scannings“ aufgrund des rein qualitativen Ansatzes keine Betrachtung von neuen oder geänderten Risiken, die aus der Änderung resultieren. Des Weiteren konnte vor allem aus den NeGSt-Berichten die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Betrachtung neuer oder geänderten Risiken ein Hauptzweck der Signifikanzbewertung darstellt. Auch konnte dargestellt werden, dass eine risikobasierte Betrachtung Bestandteil aller in Abschnitt 4.2 erläuterten Verfahren ist. Aus diesen Überlegungen heraus besitzt ein rein qualitatives Verfahren wie das „Safety Scanning“, das keine Betrachtung von Risiken beinhaltet, für die weitergehende Betrachtung innerhalb dieser Arbeit keine weitere Relevanz.

4.3 Darstellung der weiteren Entwicklung im Bereich der CSM-Verordnung

Parallel zu den Veröffentlichungen der Ansätze und Verfahren zur Signifikanzbewertung, die in Abschnitt 4.2 erläutert wurden, hat seit der Veröffentlichung der CSM-Verordnung im Jahr 2009 eine Diskussion über den Inhalt und die Folgen der CSM-Verordnung stattgefunden. Diese Diskussion, die die Sicht der deutschen Bahnindustrie auf die CSM-Verordnung darstellt, wird in Abschnitt 4.3.1 dargestellt. Darüber hinaus wurde Anfang des Jahres 2013 eine Revision der ursprünglichen CSM-Verordnung veröffentlicht. Auf die Gründe und den Inhalt der Veröffentlichung soll in 4.3.2 eingegangen werden. Zusätzlich liegt mit [ERA13²] ein offizielles Dokument von Seiten der ERA vor, das einerseits auf die Revision der CSM-Verordnung eingeht und andererseits die Anwendung der CSM-Verordnung in Deutschland darstellt. Die Inhalte dieses Dokuments sollen in Abschnitt 4.3.3 dargestellt und erläutert werden.

4.3.1 Darstellung der Diskussion zum Thema CSM

Nach der Veröffentlichung der CSM-Verordnung im April 2009 gab es auf Seiten der deutschen Bahnindustrie erhebliche Anstrengungen, unter anderem mit der Schaffung von Arbeitskreisen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen wie [DEI12], rechtliche und inhaltliche Klarheit über das Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen zu erlangen. Auch die NeGSt-Berichte und das Verfahren aus Abschnitt 4.2.4 sind in diesem Zusammenhang zu sehen. Als ein Ergebnis dieser Anstrengungen wird mittlerweile die Sichtweise vertreten, dass das Verfahren zur Signifikanzbewertung über die reine risikobasierte Betrachtung hinausgeht und vor allem die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ laut [BRA13²] die Änderung aus Sicht der durchführenden Organisation beleuchten. Somit kann dieselbe Änderung für unterschiedliche Organisationen auch zu unterschiedlichen Signifikanzentscheidungen führen. Gleichzeitig erfolgt nach Aussage von [HOL13] derzeit eine genaue Auslegung des Begriffs der unabhängigen Bewertungsstelle, die die Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens überprüft.

Darüber hinaus gab es konkrete Überlegungen, einen Gleichwertigkeitsnachweis der in Abschnitt 2.2 erläuterten CENELEC-Normen mit den Forderungen der CSM-VO mit Hilfe der ERA zu erzielen. Das Ziel dieses Vorgehens war die Umgehung der aus Sicht der Bahnindustrie in vielen Bereichen unklaren CSM-Verordnung mit Hilfe der bekannten Zulassung nach CENELEC. Das Problem dieses Ansatzes stellten aber diese Bereiche dar, die nicht nach EN 50126, sondern wie beispielsweise die Signaltechnik nach der deutschen Norm Mü8004 bewertet wurden. Dasselbe gilt unter anderem auch für die noch häufig im Einsatz befindlichen Relaisstellwerke sowie Bahnübergänge mit Lichtzeichen oder Blinklichtern. Werden bei einem bestehenden Bahnübergang beispielsweise die konventionellen Signalgeber durch LED-Technik ersetzt und wird diese Änderung als signifikant eingeschätzt, muss für den von der Änderung betroffenen Teil eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahren erfolgen. Eine Systemabgrenzung dieses Teils zum Gesamtsystem ist zwar möglich, nur liegen durch den qualitativen Charakter der Mü8004 keine Daten vor, die in eine explizite Risikoabschätzung nach CSM-Verordnung einfließen könnten. Damit wäre eine explizite Risikoabschätzung für das gesamte System erforderlich, was für bestehende Altanlagen bedeuten kann, dass eine komplette Neuentwicklung günstiger als der Umbau von Altanlagen ist. Dasselbe gilt für den Umbau von Relaisstellwerken. Dafür ist zusätzlich zur CSM-Anwendung eine Bewertung der Änderung nach dem ProdSG erforderlich. Dieses Verfahren wurde in Abschnitt 4.1.2 bereits ausführlich betrachtet.

Auch die Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens der CSM-Verordnung wird vor diesem Hintergrund kritisch gesehen. Dies ist nicht nur auf den zusätzlichen Aufwand zurückzuführen, vielmehr wird die quantitative Risikoanalyse aus Haftungsgründen, falls möglich, umgangen. Das Problem wird hier vor allem darin gesehen, dass quantitative Aussagen hinsichtlich der Sicherheit getroffen werden müssen. Gerade in Deutschland sorgt der Respekt vor späteren Schuldvorwürfen bei den zuständigen Gutachtern des EBA dafür, dass auch bei geringen Zweifeln Zulassungen an weitere Bedingungen und Auflagen geknüpft werden. Nach Aussage von Juristen der Bahnindustrie sowie [VDB11] wird daher beim Risikomanagementverfahren die explizite Risikoabschätzung weitestgehend gemieden und stattdessen versucht, anhand von anerkannten Regeln der Technik und von

Vergleichssystemen die Risiken zu managen. Gleichzeitig machen die Betrachtungen von [ANT13] deutlich, dass für die explizite Risikoabschätzung, abgesehen von dem Risikoakzeptanzkriterium (RAK) für katastrophale Folgen beim Ausfall eines technischen Systems, noch keine RAK für die weiteren Bereiche vorliegen. Auch die DB AG stellt fest, dass für die Anwendung der expliziten Risikoabschätzung viele methodische Fragen bisher nicht abschließend geklärt sind. Gleichzeitig bestehen nach Ansicht von [HOL13] besondere Schwierigkeiten in dem Fall, wenn ein risikobasierter Vergleich mit den anerkannten Regeln der Technik beziehungsweise einem Referenzsystem vorgenommen werden soll. Diese Erläuterungen machen deutlich, warum von allen Beteiligten der Wunsch nach einem möglichst objektiven Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen besteht, das gleichzeitig wenig Freiraum für Interpretationen lässt. Wie in Kapitel 3 dargestellt, trifft dies auf das Verfahren, das sich nur aus den CSM-Vorschriften ergibt, nicht zu. Die Betrachtung in Abschnitt 4.2 hat gezeigt, dass mehrere Verfahren versuchen diesen Mangel zu beheben, dies aber nur über zum Teil nicht wissenschaftlich begründete Annahmen gelingt.

4.3.2 Revision der CSM-Verordnung

Neben der Diskussion der CSM-Verordnung, die ihren Ausdruck in den in Abschnitt 4.2 erläuterten Verfahren sowie in den in Abschnitt 4.3.1 erläuterten Aspekten findet, wurden auch seitens der ERA mittels Arbeitsgruppen Teile der ursprünglichen CSM-Verordnung überarbeitet. Das Ergebnis dieser Überarbeitungen ist die europäische Durchführungsverordnung Nummer 402/2013, die eine Revision der ursprünglichen CSM-Verordnung darstellt. Nach Artikel 19 wird die ursprüngliche CSM-Verordnung Nummer 352/2009 mit der Wirkung vom 21. Mai 2015 aufgehoben. Die Revisionen betreffen vor allem die Zuständigkeiten und den Aufgabenbereich der Bewertungsstellen sowie die erforderlichen Qualifikationen bei diesen Stellen. Die Kriterien für die Akkreditierung oder Anerkennung der Bewertungsstelle sind nun in Anhang II der Verordnung enthalten und ersetzen den Anhang II der Verordnung Nr. 352/2009 mit denen von den Bewertungsstellen zu erfüllenden Kriterien. Gleichzeitig wurden mit der Neufassung Übersetzungsfehler in der deutschen Fassung der Verordnung korrigiert. Dies betrifft vor allem die Ersetzung des Begriffs der „anerkannten Regeln der Technik“ durch „Regelwerke“. Daneben wurde auch das „Sachverständigenurteil“ durch den Begriff „Expertenurteil“ ersetzt sowie das „weitgehend vertretbare Risiko“ durch „allgemein vertretbares Risiko“. Diese Begriffsänderungen sind wiederum Anstoß neuer Diskussionen (vgl. [DEI13] sowie [HEY13]). In Bezug auf organisatorische Änderungen wird in Artikel 2 Ziffer (1) ergänzt, dass solche organisatorische Änderungen zu betrachten sind, die sich auf Betriebs- oder Instandhaltungsprozesse auswirken können. In der vorherigen Version der CSM-Verordnung war in diesem Zusammenhang von Betriebsbedingungen die Rede. Darüber hinaus haben sich aus der neuen Verordnung für den Artikel 4, der sich mit Verfahren zur Signifikanzbewertung beschäftigt, keine umfangreichen Änderungen ergeben. In der Erläuterung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ wurde der Text „Szenario des schlechtesten anzunehmenden Falls“ durch „Szenario des ungünstigsten anzunehmenden Falls“ ersetzt. Zudem wurde für dieses Kriterium bei der Beschreibung der „Berücksichtigung etwaiger außerhalb des Systems bestehender Sicherheitsvorkehrungen“ ergänzt, dass in diesem Zusammenhang das zu bewertende System gemeint ist. Zudem wird in der Erläuterung des Kriteriums „Innovation“ der Ausdruck „Implementierung der Änderung“ durch „Einführung der Änderung“ ersetzt.

4.3.3 Vortrag der ERA bezüglich der deutschen CSM-Erfahrungen

Die ERA hat mit dem Dokument [ERA13²] eine Veröffentlichung vorgenommen, die die Überarbeitung der CSM-Verordnung zum Anlass hat und darüber hinaus auf die deutschen Erfahrungen mit der CSM eingeht. Die Abbildung 16 zeigt die Sicht der ERA auf die Anwendung der CSM. Zunächst ist nach Aussage dieses Diagramms zu prüfen, ob die Änderung Sicherheitsrelevanz besitzt. Ist die Änderung nicht sicherheitsrelevant, ist auch eine Anwendung der CSM nicht erforderlich. Besitzt die Änderung hingegen Sicherheitsrelevanz, muss eine Bewertung der Änderung anhand der Signifikanzkriterien erfolgen. Im Gegensatz zum Verfahren aus Kapitel 3, das in Abbildung 2 dargestellt ist und den vorliegenden Inhalt der CSM-Vorschriften widerspiegelt, entscheidet in Abbildung 16 nicht die Anwendung der Kriterien allein über die Signifikanz der Änderung. Stattdessen ist nach der Anwendung der Kriterien zu betrachten, inwiefern die mit der Änderung verbundenen Risiken durch bereits bestehende Maßnahmen beherrscht werden und daher akzeptabel sind. In diesem Fall ist die Änderung als nicht signifikant zu bewerten und es muss keine Betrachtung dieser Änderung mit dem harmonisierten Risikomanagementprozess erfolgen. Jedoch ist wie in Abbildung 2 die Entscheidung zu dokumentieren und es muss der Hinweis erbracht werden, inwieweit mit den Risiken der Änderung, die zwar sicherheitsrelevant, aber nicht signifikant ist, umgegangen wird. Werden die mit der Einführung der Änderung verbundenen Risiken jedoch bisher nicht durch bestehende Risikobeherrschungsmaßnahmen kontrolliert, muss festgestellt werden, ob diese Risiken durch noch nicht existierende aber in der Vergangenheit bereits wiederholt angewendete und daher geläufige („well known“) Maßnahmen kontrolliert werden können. Ist dies möglich, gilt die Änderung wiederum als nicht signifikant. Existieren hingegen solche Maßnahmen nicht, die zur Kontrolle dieser Risiken eingesetzt werden können, gilt die Änderung als signifikant und es ist eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementprozess der CSM-Vorschriften erforderlich.

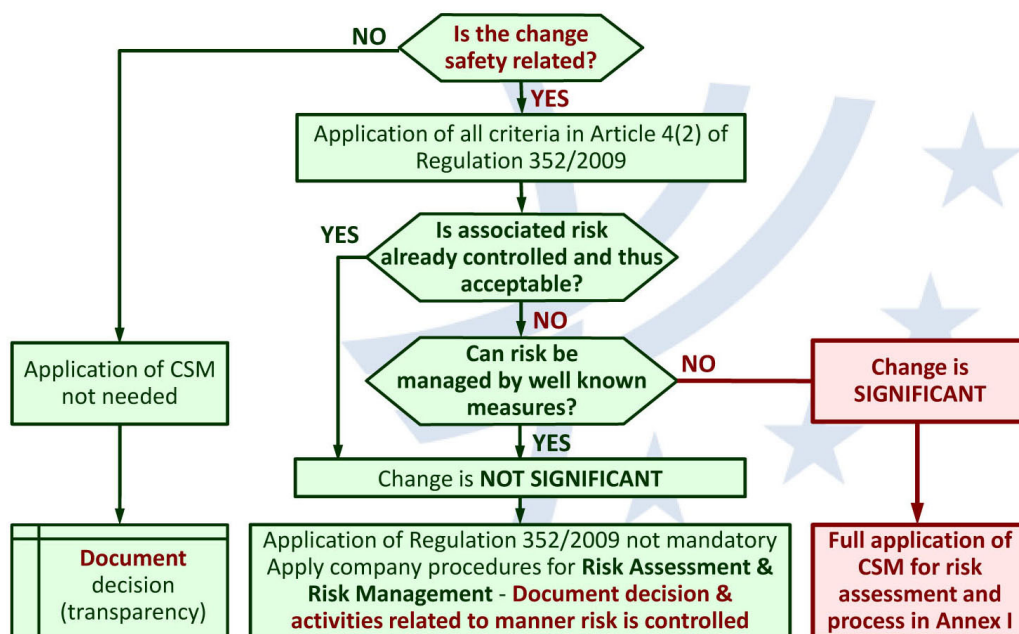


Abbildung 16: Anwendung der CSM aus Sicht der ERA. Siehe [ERA13²]

Vergleicht man nun die Aussagen in [ERA13²] mit den vorangegangenen Veröffentlichungen der ERA wie dem „Guide of Application“ des Dokuments [ERA09], ist ein wesentlicher Hauptunterschied zu erkennen. Nach Abbildung 16 ist nicht mehr die Signifikanzbewertung anhand der CSM-Kriterien alleine dafür entscheidend, ob eine Änderung als signifikant eingestuft wird oder nicht. Vielmehr trägt diese Darstellung nun der Tatsache Rechnung, dass neben dem Verfahren der CSM vor allem die Zulassung anhand der CENELEC-Normen existiert. Diese Abbildung drückt somit aus, dass auch Änderungen, die anhand der Anwendung der Signifikanzbewertung als signifikant eingestuft werden, nicht automatisch der Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens bedürfen. Von dieser Anwendung kann abgesehen werden, falls das Risiko bereits mit Hilfe von existierenden Risikomaßnahmen wie denen der EN 50126 beherrscht wird oder durch bereits zur Anwendung gekommene Maßnahmen beherrscht werden kann. Liegt dies beides nicht vor, wird die Änderung als signifikant eingestuft und eine Anwendung des Risikomanagementprozess der CSM-Verordnung ist erforderlich. Diese neue Erkenntnis macht eine Anpassung des Diagramms des CSM-Verfahrens erforderlich, wie sie bereits in der Darstellung der ERA in Abbildung 16 umgesetzt wurde.

Gleichzeitig drückt sich in dieser Sichtweise auch die Interpretation der Präambel der CSM-Verordnung aus, die bereits bei der Betrachtung der NeGSt-Berichte sowie des DB-Verfahrens erläutert wurde. Demnach soll die CSM-Verordnung nur für solche Änderungen Anwendung finden, falls aus geänderten Betriebsbedingungen oder neuem Material neue Risiken resultieren. Die Darstellung der ERA aus Abbildung 16 lässt sich insofern auch auf die Auslegung der Präambel zurückführen, dass neue Risiken nicht vorliegen, falls diese Risiken entweder bereits kontrolliert werden oder sich durch bereits bewährte Maßnahmen kontrollieren lassen.

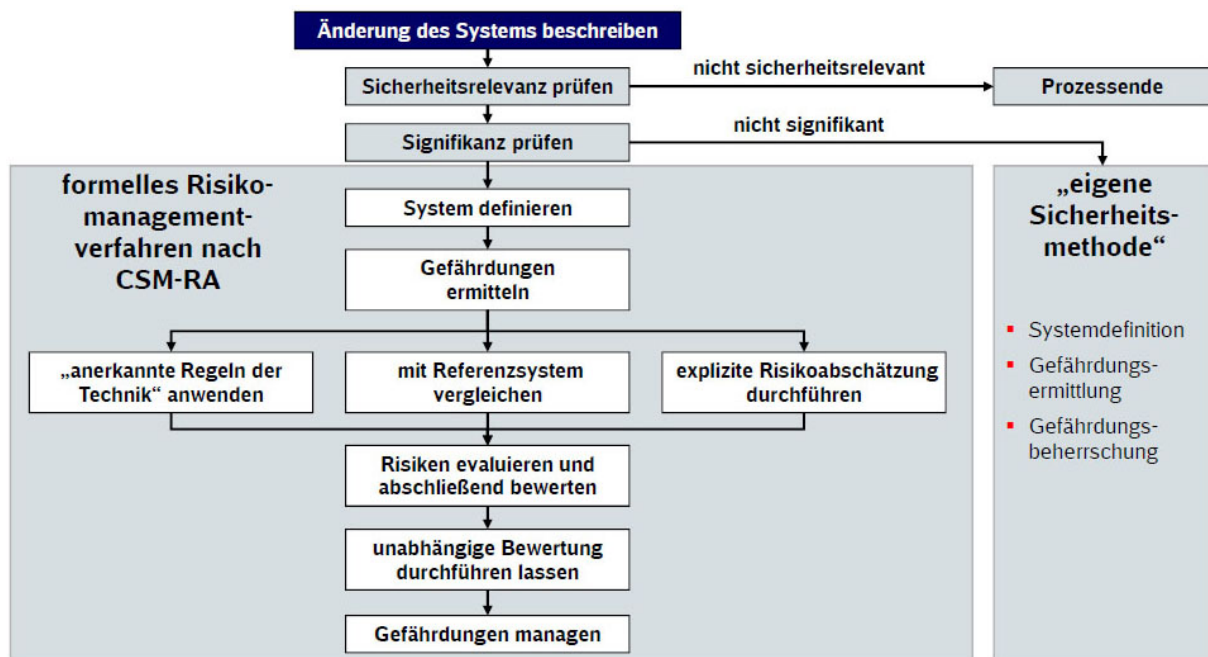


Abbildung 17: Verständnis der DB AG für den CSM-Prozess. Siehe [HOL13]

Nach Ansicht der DB AG entscheidet die Signifikanzbewertung allein darüber, ob ein harmonisiertes Risikomanagementverfahren zum Einsatz kommt. Der wesentliche

Unterschied des harmonisierten Risikomanagementverfahrens im Vergleich zur Anwendung der nach SMS vorgeschriebenen eigenen Sicherheitsmethode besteht demzufolge nur darin, dass beim harmonisierten Risikomanagementverfahren nach CSM eine unabhängige Bewertungsstelle zum Einsatz kommen muss. Der Prüfung der Sicherheitsrelevanz kommt demzufolge eine deutlich größere Relevanz zu, da laut [HOL13] hiervon abhängt, ob eine Änderung überhaupt mit Hilfe eines Risikomanagementverfahrens betrachtet werden muss oder der Prozess direkt beendet werden kann. Die Abbildung 17 stellt den CSM-Prozess in der Form dar, die dem Verständnis der DB AG entspricht.

5 Erkenntnisse hinsichtlich der Signifikanzbewertung

5.1 Erkenntnisse hinsichtlich der wesentlichen Begriffe

Im Kapitel 3 wurde gezeigt, dass ein Kernproblem des CSM-Verfahrens die fehlende Definition wesentlicher Begriffe ist. Dies betrifft vor allem die beiden Begriffe „Änderung“ und „Signifikanz“. Die Definition des Begriffs „Änderung“ ist für die Entscheidung notwendig, welche Änderungen anhand des Verfahrens zur Signifikanzbewertung untersucht werden sollen. Die Definition des Begriffs „Signifikanz“ hingegen ist erforderlich, um das grundlegende Ziel der Signifikanzbewertung zu kennen. Diesbezüglich konnte gezeigt werden, dass ein weiterer wesentlicher Schwachpunkt des Verfahrens zur Signifikanzbewertung der vorhandene Interpretationsspielraum des Verfahrens ist, wobei gleichzeitig Unklarheit über den Zweck und die Auswirkungen dieser Bewertung besteht. Somit ist in Verbindung mit der Definition des Begriffs Signifikanz auch das Verständnis für die Relevanz der Signifikanzbewertung innerhalb des CSM-Prozesses zu sehen.

5.1.1 Erkenntnisse hinsichtlich des Begriffs der Änderung

Die beiden NeGSt-Berichte sowie die DB AG haben die Präambel Ziffer (4) der ursprünglichen CSM-Verordnung genutzt, um den Begriff der Änderung im Sinne dieser Verordnung auszulegen. Der Bericht [TÜV13] folgert, dass eine wiederholte Anwendung von eingeführten Prozeduren keine Änderung im Sinne der CSM-Verordnung darstellt und somit nicht weiter zu untersuchen ist. Es müssen also nur solche Änderungen bewertet werden, aus denen neue Gefährdungen beziehungsweise Risiken entstehen können oder die bestehende Gefährdungen sowie Risiken ändern können.

Folgende Änderungen sind mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung zu betrachten:			
zu betrachtende Änderungen im Bereich Technik		zu betrachtende Änderungen an Prozessen und Verfahren	
neue Technik	bestehende Technik	Neue Prozesse und Verfahren	Bestehende Prozesse und Verfahren
- Die Änderung beinhaltet für die Organisation den Einsatz neuer Technik.	- Durch die Änderung können neue Gefährdungen beziehungsweise Risiken entstehen. - Durch die Änderung können bestehende Gefährdungen beziehungsweise Risiken verändert werden.	- Die Änderung macht für die Organisation den Einsatz neugestalteter Prozesse und Verfahren notwendig.	- Durch die Änderung müssen bestehende Prozesse und Verfahren weiterentwickelt werden. - Durch die Änderung entfallen bestehende Prozesse oder Verfahren. - Durch die Änderung kommen bestehende Prozesse und Verfahren erstmalig unter anderen Systembedingungen zur Anwendung. - Durch die Änderung kommen bestehende Prozesse und Verfahren erstmalig in einer neuen Kombination zum Einsatz.
Es muss somit keine Änderung an bestehender Technik betrachtet werden, die keine Gefährdungen beziehungsweise Risiken verändert oder neue hervorrufen kann (1:1 Austausch von Komponenten).		Es muss somit keine Betrachtung von Änderungen erfolgen, bei der bestehende Prozesse und Verfahren angewendet werden.	

Tabelle 23: Beschreibung der für die CSM-Verordnung relevanten Änderungen

In [HOL13] wird für Verfahren und Prozesse definiert, wann eine Änderung vorliegt. Anhand dieser Quellen und mit Hilfe der Auslegung der Präambel lassen sich diejenigen Änderungen beschreiben, für die nach der CSM-Verordnung eine Anwendung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung notwendig ist. Anhand der Signifikanzbewertung muss somit für alle

Änderungen, die einem der Fälle in Tabelle 23 zuzuordnen sind, geprüft werden, ob eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erforderlich ist.

5.1.2 Erkenntnisse hinsichtlich des Begriffs der Signifikanz sowie der Signifikanzbewertung

Eine wesentliche Erkenntnis für das Verständnis des Zwecks der Signifikanzbewertung liefert wiederum die Präambel Ziffer (4) der ursprünglichen CSM-Verordnung. Hieraus wird unter anderem in [TÜV13] abgeleitet, dass die Aufgabe der Signifikanzbewertung in der Klärung besteht, ob die Durchführung beziehungsweise die fehlerhafte Durchführung einer Änderung mit einem erhöhten oder zusätzlichen Risiko verbunden ist, so dass eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erforderlich ist. Aus der Betrachtung der Präambel konnte zudem gezeigt werden, dass die Signifikanzbewertung die Umsetzung der Änderung durch die Organisation und nicht allein die Änderung selbst betrachten soll. Für den Prozess der Signifikanzbewertung konnte wiederum die Präambel in [TÜV13] und [HOL13] eine wichtige Erkenntnis liefern. Hieraus wird abgeleitet, dass das Ziel des harmonisierten Risikomanagementverfahrens keine Bewertung von bereits bewerteten Situationen ist. Dies hat zum einen wie in Abschnitt 5.1.1 Folgen für die Definition des Begriffs der Änderung. Gleichzeitig lässt sich hieraus aber auch ableiten, dass keine Risiken mit dem harmonisierten Risikomanagementverfahren betrachtet werden müssen, die entweder bereits kontrolliert werden oder durch Maßnahmen, mit denen die durchführende Organisation ausreichend Erfahrung besitzt, kontrolliert werden können. Dieser Aspekt ist in die Abbildung 16 eingeflossen, die die Sicht der ERA auf den CSM-Prozess darstellt.

In Kapitel 4 konnten weitere Erkenntnisse über die Relevanz der Signifikanzbewertung für den gesamten CSM-Prozess gewonnen werden. Die Erkenntnisse, die anhand der CSM-Verordnung vollzogen werden konnten, haben zu dem in Abbildung 2 dargestellten Prozess geführt. Im Vergleich zu diesem haben sich im Laufe der Untersuchung einige Ergänzungen ergeben. Die Abbildung 18 ordnet das Verfahren zur Signifikanzbewertung in den gesamten Prozess ein. Im Unterschied zu dem in Kapitel 3 dargestellten Prozess ist zum einen die Prüfung der Änderung als neuer Schritt hinzugekommen. Die Tabelle 23 beschreibt nun solche Beispiele, für die anhand des Verfahrens zur Signifikanzbewertung geprüft werden muss, ob eine Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens erforderlich ist. Ist eine Änderung eindeutig keinem der Beispiele in dieser Tabelle zuzuordnen, kann der gesamte Prozess bereits an dieser Stelle abgebrochen werden. Dies bedeutet, dass für die betrachtete Änderung zwar in jedem Fall kein harmonisiertes Risikomanagementverfahren durchgeführt werden muss. Jedoch sind die erforderlichen Qualitätsmaßnahmen für die Änderung durchzuführen, die durch das SMS der durchführenden Organisation beschrieben sind. Der hellblaue Kasten umfasst mit der Prüfung der Sicherheitsrelevanz und der Prüfung der Signifikanz der Änderung die beiden Teile des Verfahrens zur Signifikanzbewertung. Hierbei ist zu beachten, dass das Kriterium „Additive Wirkung“ vorschreibt, was die relevante Grundlage für die weitere Untersuchung der Änderung ist (vgl. Abschnitt 3.2.1). Im Gegensatz zur Abbildung 2 wird in dieser Abbildung deutlich hervorgehoben, dass eine nicht signifikante, aber sicherheitsrelevante Änderung neben der Aufbewahrung zweckdienlicher Unterlagen eine Anwendung eines eigenen Risikomanagementverfahrens erforderlich macht, falls dieses durch das SMS der durchführenden Organisation vorgeschrieben ist. Diese

Ergänzung widerspricht zwar nicht der Abbildung 2, jedoch dient sie der Erkenntnis, welche Folgen die Signifikanzentscheidung für das weitere Vorgehen besitzt. So ist nun anhand des Prozesses zu erkennen, dass die Signifikanzbewertung nicht darüber entscheidet, ob überhaupt ein Risikomanagementverfahren anzuwenden ist, sondern ob das harmonisierte oder ein eigenes Risikomanagementverfahren angewendet werden muss. Damit entscheidet allein die Prüfung der Sicherheitsrelevanz, ob ein Risikomanagementverfahren zur Anwendung kommt oder nicht.

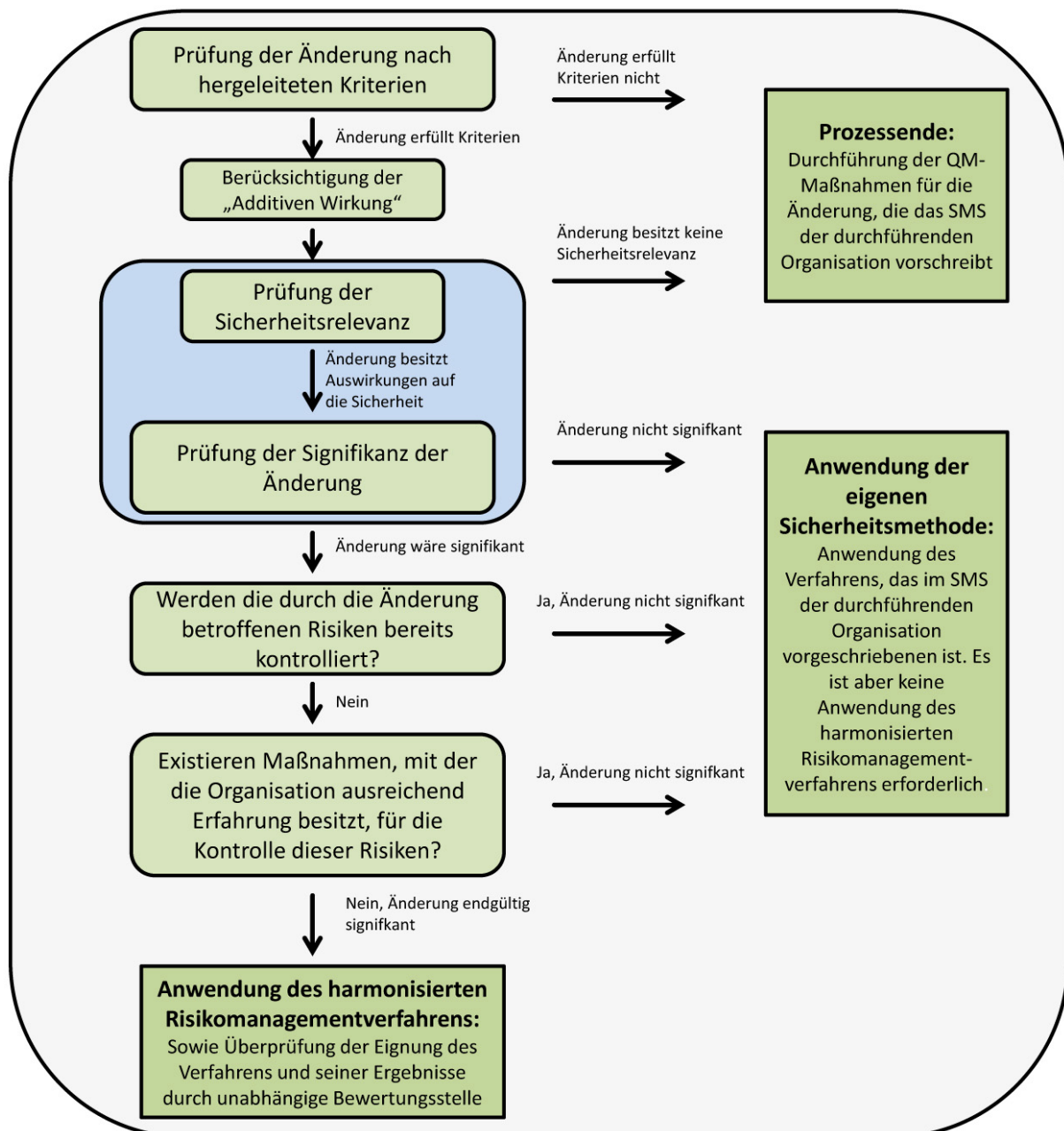


Abbildung 18: Einordnung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung

Des Weiteren wurde im Prozess ergänzt, dass eine Änderung auch dann nicht signifikant ist, falls die durch die Änderung betroffenen Risiken entweder bereits kontrolliert werden oder durch Maßnahmen kontrolliert werden können, mit denen die durchführende Organisation bereits Erfahrung besitzt. Zudem wurde ergänzt, dass bei der Anwendung des harmonisierten

Risikomanagementverfahrens eine unabhängige Bewertungsstelle die Eignung des Verfahrens sowie seine Ergebnisse überprüft. Wie in Abschnitt 4.3.3 beschrieben stellt dies einen wesentlichen Unterschied der Anwendung des harmonisierten Risikomanagementverfahrens im Vergleich zur Durchführung des eigenen Risikomanagementverfahrens dar. Somit konnte nun anhand der Ergebnisse von Kapitel 3 und Kapitel 4 das Verfahren zur Signifikanzbewertung in den gesamten Prozess des harmonisierten Risikomanagementverfahrens der CSM-Verordnung eingeordnet werden. Auch ist deutlich geworden, was die Signifikanzbewertung für das weitere Vorgehen bedeutet sowie welchen Zweck die Signifikanzbewertung besitzt. Damit kann nun das eigentliche Verfahren zur Signifikanzbewertung, das in der Abbildung 18 durch das hellblaue Kästchen dargestellt ist, in den Fokus gerückt werden.

5.2 Erkenntnisse hinsichtlich der Art des Verfahrens

In Kapitel 3 konnte gezeigt werden, dass das wesentliche Kernproblem des CSM-Verfahrens die ungeklärte Rolle der qualitativen Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ in einer zum Teil risikobasierten Betrachtung ist. Die Untersuchung der Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen in Abschnitt 4.1 hat ergeben, dass in diesen Verfahren entweder qualitative oder risikobasierte Ansätze zur Anwendung kommen. Damit wurde deutlich, dass anhand dieser Verfahren zur Änderungsbewertung keine Erkenntnisse gezogen werden können, wie in einem semiquantitativen Verfahren die vorhandenen qualitativen und risikobasierten Kriterien zu vereinbaren sind. Zusätzlich ist deutlich geworden, dass geklärt werden muss, welche Aufgabe den Kriterien der beiden unterschiedlichen Bereiche zukommt. Weitergehend hat die Untersuchung der Verfahren zur Signifikanzbewertung in Abschnitt 4.2, die seit der Veröffentlichung der CSM-Verordnung im April 2009 beschrieben wurden, ergeben, dass sich die Verfahren in drei verschiedene Gruppen unterteilen lassen. Neben den Verfahren, deren Ziel die Herleitung eines vereinfachten Vorgehens unter der Annahme besonderer Voraussetzungen ist, sind dies zum einen die Verfahren, die einen risikobasierten Ansatz verfolgen, und zum anderen die Verfahren, die versuchen die qualitativen und risikobasierten Kriterien in einem Ansatz zu vereinen. Die letztgenannten Verfahren bauen hierbei auf einem Ansatz auf, der die Ausfallfolgen sowie die Unsicherheit der Einschätzung in einer Matrix zusammenfasst. Ein rein qualitatives Verfahren ohne die Betrachtung von Gefährdungen sowie Risiken existiert hingegen nicht. Diese Erkenntnisse führen zu der Fragestellung, welcher dieser Ansätze für den Zweck der Signifikanzbewertung gewählt werden sollte. Letztendlich ist diese Entscheidung davon abhängig, ob eine Begründung für die unübliche Verbindung von risikobasierten und qualitativen Verfahren existiert. Die Auslegung der Präambel unter anderem in [TÜV13] und [HOL13] sowie die Erkenntnisse hinsichtlich des gesamten Prozesses in Abschnitt 5.1.2 haben diesbezüglich gezeigt, dass die Signifikanzbewertung den Umgang der betroffenen Organisation mit einer Änderung betrachten sollte. Damit wird innerhalb der Signifikanzbewertung nicht allein die Änderung untersucht. Falls dies so wäre, würde eine ausschließlich risikobasierte Betrachtung der Änderung, wie unter anderem bei dem Verfahren zur Bewertung von Änderungen an Anlagen und Maschinen aus Abschnitt 4.1.2, sinnvoll sein.

Vielmehr macht das Vorhandensein der qualitativen Kriterien deutlich, dass mit ihnen neben der Änderung selbst auch die Durchführung der Änderung durch die betreffende Organisation bewertet werden soll. Dies hat zur Folge, dass wie in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, dieselbe Änderung für unterschiedliche Organisationen auch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Die ERA hat diesen Aspekt in dem Dokument [EUR09] noch einmal explizit erwähnt, was diese Auslegung stützt. Gleichzeitig hat die Untersuchung in Abschnitt 5.1 gezeigt, dass allein die Prüfung der Sicherheitsrelevanz darüber entscheidet, ob überhaupt eine Betrachtung der Änderung mit einem Risikomanagementverfahren erfolgen muss. Die Prüfung der Signifikanz der Änderung, die anhand der Kriterien erfolgt, entscheidet hingegen nur darüber, ob ein harmonisiertes oder ein eigenes Risikomanagementverfahren zur Anwendung kommt. Das unterstreicht noch einmal die Annahme, dass anhand der Signifikanzbewertung die Fähigkeit der durchführenden Organisation geprüft werden soll, die Änderung sicher umzusetzen. Aus diesem Grund ist es nachvollziehbar, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz ausschließlich auf einer risikobasierten Grundlage stattfindet, wohingegen bei der Prüfung der Signifikanz neben dem risikobasierten Kriterium „Folge von Ausfällen“ auch qualitative Kriterien zur Anwendung kommen. Aus diesen Überlegungen heraus lässt sich die Besonderheit des Verfahrens zur Signifikanzbewertung, das risikobasierte und qualitative Kriterien in einem Verfahren zusammenfasst, begründen. Dieses hat zur Folge, dass solch ein semiquantitatives Verfahren für die Signifikanzbewertung zur Anwendung kommen sollte. Die Untersuchung in Kapitel 4 hat ergeben, dass ausschließlich die Verfahren der ORR, der DB AG sowie des NeGSt-Berichts diese Bedingung erfüllen. Hierbei ist hingegen für das ORR-Verfahren festzuhalten, dass die beiden Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ zur Signifikanzbewertung zwar herangezogen werden sollen, dass jedoch ihre genaue Rolle im Rahmen dieser Bewertung nicht beschrieben ist. Jedoch hat auch die Untersuchung der anderen beiden Verfahren in Abschnitt 4.2 gezeigt, dass diese über Aspekte verfügen, die einer weiteren Klärung bedürfen.

5.3 Erkenntnisse hinsichtlich der Kriterien zur Signifikanzbewertung

5.3.1 Abgrenzung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Ausfällen“

Im vorangegangenen Abschnitt 5.2 wurde festgehalten, dass die Prüfung der Sicherheitsrelevanz anhand einer risikobasierten Betrachtung vorgenommen wird, da sie darüber entscheidet, ob überhaupt eine Anwendung eines Risikomanagementverfahrens erforderlich ist. Die Prüfung der Signifikanz entscheidet im Gegensatz dazu anhand von risikobasierten und qualitativen Kriterien über die Art des Risikomanagementverfahrens, welches zum Einsatz kommt. Hierzu konnte gezeigt werden, dass sich das harmonisierte und das eigene Risikomanagementverfahren vor allem dahingehend unterscheiden, dass das harmonisierte Risikomanagementverfahren eine unabhängige Bewertung erforderlich macht. Damit konnte der Unterschied zwischen den beiden Teilen des Verfahrens zur Signifikanzbewertung dargestellt werden. Jedoch ist zusätzlich eine deutliche Unterscheidung zwischen der risikobasierten Prüfung der Sicherheitsrelevanz und dem einzigen risikobasierten Signifikanzkriterium „Folge von Ausfällen“ erforderlich. In Abschnitt 5.2 konnte gezeigt werden, dass allein das ORR-Verfahren, das DB-Verfahren sowie das

Verfahren aus dem NeGSt-Bericht eine Verbindung zwischen qualitativen und risikobasierten Kriterien besitzen. Von diesen drei Verfahren besitzt das ORR-Verfahren keine brauchbare Unterscheidung zwischen der Prüfung Sicherheitsrelevanz und dem Kriterium „Folge von Ausfällen“. Bei dem Verfahren aus dem NeGSt-Bericht wurde angenommen, dass alle Änderungen in dem untersuchten Bereich der LST sicherheitsrelevant sind. Aus diesem Grund ist auch in diesem Verfahren keine solche Unterscheidung vorhanden. Jedoch konnte die Betrachtung des DB-Verfahrens in Abschnitt 4.2.6 zeigen, dass dieses Verfahren eine solche Unterscheidung besitzt. Innerhalb des Verfahrens wird zunächst geprüft, ob die Änderung sicher ist. Der Bezugspunkt für die Sicherheit ist hierbei nach Ansicht von [GE12] die menschliche Gesundheit. Demnach ist eine Änderung dann nicht sicherheitsrelevant, falls durch sie ersichtlich kein Personenschaden entstehen kann. Da eine nicht sicherheitsrelevante Änderung mit keinem Risikomanagementverfahren betrachtet werden muss, erscheint eine Beschränkung auf Personenschäden nicht als sinnvoll. Vielmehr ergibt die Betrachtung der Definition des „schweren Unfalls“ in der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie, dass ein schwerer Unfall nicht nur bei Personenschäden, sondern auch bei beträchtlichen Schäden an Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt vorliegt. Gleichzeitig erscheint es sinnvoll, auch für die Definition der Sicherheitsrelevanz wiederum die Präambel Nummer (4) der CSM-Verordnung heranzuziehen, da die Prüfung der Sicherheitsrelevanz unmittelbar über die Anwendung eines Risikomanagementverfahrens entscheidet. Somit kann für die Prüfung der Sicherheitsrelevanz vor dem Hintergrund der Definition des Begriffs der „Änderung“ in Tabelle 23 zusätzlich festgehalten werden, dass eine Änderung dann keine Sicherheitsrelevanz besitzt, falls durch die Änderung keine neuen Risiken entstehen oder bestehende Risiken geändert werden. Für Änderungen im Bereich der Technik wird deutlich, dass diese Bedingung somit nach der Prüfung der Änderung auch in der Prüfung der Sicherheitsrelevanz nochmals untersucht wird. Dies hat zur Folge, dass in der Regel jede technische Änderung, welche der Tabelle 23 zuzuordnen ist und mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung betrachtet werden muss, auch sicherheitsrelevant ist. Dies liefert zudem eine Begründung dafür, warum alle in [TÜV13] betrachteten Änderungen auch sicherheitsrelevant sind. Für Änderungen an Prozessen und Verfahren ist diese zusätzliche Bedingung jedoch sinnvoll, da hierfür diese Bewertung innerhalb der Prüfung der Änderung anhand von Tabelle 23 noch nicht stattgefunden hat. Zugleich widersprechen sich beide Bedingungen nicht. Für eine Änderung, welche neue Risiken beinhaltet oder bestehende Risiken verändert, kann ohne weitergehende Untersuchung keine sichere Aussage getroffen werden, ob aus ihr ein Personenschaden oder ein Schaden an Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt resultieren kann. Somit gilt eine Änderung als sicherheitsrelevant, wenn eine der beiden Bedingungen erfüllt ist.

Die Untersuchung des DB-Verfahrens hat gezeigt, dass anhand der Sicherheitsrelevanz geprüft wird, ob aus der Änderung ein Schaden resultieren kann. Im Gegensatz dazu wird anhand der „Folge von Ausfällen“ bewertet, welche denkbaren Auswirkungen ein Ausfall des betrachteten Systems besitzt. Diese Auswirkungen werden einer von vier möglichen Kategorien zugeordnet. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ bewertet also im Gegensatz zur Prüfung der Sicherheitsrelevanz nicht, ob die Möglichkeit für durch die Änderung hervorgerufene Schäden besteht, sondern wie hoch diese Schäden im Worst-Case-Szenario sein können. Diese Abgrenzung ist mit der CSM-Verordnung vereinbar und des Weiteren

sinnvoll, da eine als nicht sicherheitsrelevant eingestufte Änderung in keinem Fall zu Schäden führt. Somit existieren auch keine potentiellen Schäden, die anhand des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ im Rahmen einer Worst-Case-Betrachtung quantifiziert werden könnten. Im Umkehrschluss bedeutet dies, falls eine Änderung anhand des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ bewertet werden kann, muss diese Änderung auch sicherheitsrelevant sein.

5.3.2 Diskussion des Kriteriums „Folge von Ausfällen“

In [TÜV13] wurde dargelegt, dass das Kriterium „Folge von Ausfällen“ die Folgen von Fehlern bei der Durchführung einer Änderung und nicht die Ausfallfolgen des geänderten Systems bewertet. Jedoch wurde innerhalb dieses Berichts auch festgehalten, dass diese Sichtweise für den untersuchten Bereich der LST nicht zielführend ist. Die Ursache wurde darin gesehen, dass bei dieser Form der Auslegung dieses Kriteriums jede Änderung im Bereich der LST unmittelbar katastrophale Folgen besitzen würde. Aus diesem Grund wurde innerhalb dieses Berichts der Ausfall des Systems bewertet. Gleichzeitig wurde unter anderem in Abschnitt 5.2 gezeigt, dass das Verfahren zur Signifikanzbewertung eine Verbindung von risikobasierten und qualitativen Kriterien darstellen soll. Die Abgrenzung der Prüfung der Sicherheitsrelevanz vom Kriterium „Folge von Ausfällen“ hat deutlich gemacht, dass beide die Änderung selbst bewerten und nur eine unterschiedliche Form der Betrachtung besitzen. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die qualitativen Kriterien den Umgang der durchführenden Organisation mit der Änderung bewerten sollen. In dieser Aufgabenteilung der unterschiedlichen Kriterien macht es auch vor dem Hintergrund des Zwecks der Signifikanzbewertung keinen Sinn, dass das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wie die qualitativen Kriterien die Durchführung der Änderung betrachtet. Vielmehr sollte dieses risikobasierte Kriterium für die Bewertung des Systems sowie der Prozesse und Verfahren zum Einsatz kommen, die von der Änderung betroffen sind. [TÜV13] hat zudem gezeigt, dass eine Betrachtung der Durchführung der Änderung mit diesem Kriterium nicht sinnvoll ist. Zudem werden auch im DB-Verfahren sowie im ORR-Verfahren die Änderung und die Auswirkung auf das betroffene System bewertet und nicht die Durchführung der Änderung.

Alle drei Verfahren besitzen für die Ausfallfolgen der Änderung eine Einteilung in vier Kategorien. Alle weiteren Kriterien besitzen innerhalb dieser Verfahren ausschließlich eine Einteilung mit zwei Kategorien. Allein das Kriterium „Innovation“ besitzt im NeGSt-Verfahren aus [TÜV13] drei Kategorien, wovon bei der Bewertung jedoch wiederum nur zwei zur Anwendung kommen. Die Einteilung in vier Kategorien hat zur Folge, dass eine Zuordnung der jeweiligen Änderung zur richtigen Kategorie erschwert wird. Dieser Aspekt ist unter anderem beim Vortrag [HOL13] nochmals beschrieben worden. [TÜV13] löst diese Schwierigkeit, indem begründet wird, warum eine Zuordnung des SILs zu den vier Kategorien für technische Systeme im Bereich der LST sinnvoll ist. Liegt somit für das von der Änderung betroffene System ein SIL-Wert vor, ergibt sich automatisch die Zuordnung zu einer der vier Kategorien des Kriteriums „Folge von Ausfällen“. Problematisch an dieser Zuordnung ist jedoch, dass auch marginale Änderungen an beispielsweise SIL4-Systemen denkbar sind, für die nur geringe Folgen denkbar sind. In jedem Fall sollte somit die gewählte Kategorie auch bei existierendem SIL-Wert kritisch hinterfragt werden. Liegt ein solcher SIL-Wert hingegen nicht vor, soll eine Einteilung der Ausfallfolgen der Änderung anhand der Schadenskategorien der EN 50126 erfolgen. Das ORR-Verfahren verfügt über diese

Bezeichnungen der Schadenskategorien nach EN 50126. Im DB-Verfahren tragen die vier Kategorien der Ausfallfolgen der Änderung die Bezeichnungen „minimal“, „gering“, „mittel“ und „hoch“. Auch entspricht die Beschreibung dieser vier Kategorien nicht der Beschreibung der vier Schadenskategorien der EN 50126. Zum einen wird im DB-Verfahren wie schon bei der Prüfung der Änderung allein auf die Personenschäden eingegangen. Gleichzeitig liegt die Kategorie „gering“ in Tabelle 21 bei schweren Verletzungen einzelner Personen vor, wohingegen die Kategorie „marginal“ der EN 50126 bei leichten Verletzungen einzelner Personen vorliegt. Auch die Kategorie „minimal“ unterscheidet sich von der Kategorie „unbedeutend“ der EN 50126, da die Beschreibung des DB-Verfahrens an dieser Stelle statt von möglichen leichten Verletzungen wie bei der EN 50126 von leichten Verletzungen einzelner Personen spricht. Diese Unterschiede zur EN 50126 sind innerhalb des Verfahrens nicht begründet. Eine Abweichung von der EN 50126 erscheint an dieser Stelle darüber hinaus nicht sinnvoll, da ansonsten eine Begründung der selbst gewählten Einteilung der vier Kategorien erforderlich ist.

Auch mit dieser nun vorliegenden Einteilung der vier Kategorien der Ausfallfolgen der Änderung, die sich am NeGSt-Verfahren orientiert, besteht weiterhin das Problem der Zuordnung einer Änderung zu einer der vier Kategorien. Dies gilt insbesondere für Änderungen, die nicht die Ausfallfolgen einer technischen Komponente betrachten. Die Präambel hat gezeigt, dass insbesondere auch die Risiken zu bewerten sind, die aus geänderten Betriebsbedingungen resultieren. Die Ausfallfolgen von Änderungen in den Bereichen Betrieb und Organisation sowie von geänderten Prozessen und Verfahren lassen sich in der Regel weniger detailliert beschreiben, so dass es für diese Fälle sinnvoll erscheint, keine Unterteilung in vier, sondern in zwei unterschiedliche Kategorien vorzunehmen. Dieser Schritt hätte jedoch für alle drei Verfahren mit einer Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix zur Folge, dass eine grafische Anwendung der Matrix mit 16 Feldern für die beschriebenen Fälle nicht mehr möglich wäre. Es konnte jedoch bereits in Abschnitt 4.2.6 gezeigt werden, dass sich das grafische Verfahren durch ein Punkteschema ersetzen lässt. Für eine solche Bewertung anhand eines Punkteschemas ist die Zahl der möglichen Kategorien unerheblich. Jedoch muss hierfür eine sinnvolle Einteilung gefunden werden, die die vier Kategorien der Ausfallfolgen bei technischen Änderungen auf zwei mögliche Kategorien bei der Betrachtung von Änderungen in den Bereichen Organisation und Betrieb sowie bei geänderten Prozessen und Verfahren reduziert. Dies betrifft sowohl die Beschreibung der Kategorien als auch den Punktwert, der den beiden Kategorien zugeordnet wird. Die Einteilung in zwei Kategorien sollte so gewählt werden, dass jeweils die beiden höchsten und die beiden niedrigsten Kategorien zusammengefasst werden. Maßgeblich für die Kategorie ist dann jeweils die höhere der beiden zusammengefassten Kategorien. In der unteren der beiden Kategorien sind somit unbedeutende bis marginale Änderungen zusammengefasst.

5.3.3 Grundlegende Diskussion der Relevanz der qualitativen Kriterien

In Kapitel 3 wurde gezeigt, dass eines der Hauptprobleme des Verfahrens zur Signifikanzbewertung die unklare Rolle der qualitativen Kriterien innerhalb des Verfahrens ist. In Abschnitt 5.2 konnte gezeigt werden, dass anhand der qualitativen Kriterien neben der eigentlichen Änderung auch die Umsetzung dieser Änderung durch die betroffene Organisation bewertet werden soll. Das Kapitel 4.2 haben zudem die Erkenntnis gebracht,

dass die beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ innerhalb der drei Verfahren mit einer Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix eine klar definierte Rolle besitzen. Die Relevanz dieser Kriterien wird auch durch das SBB-Verfahren nicht angezweifelt, welches neben den drei Verfahren mit einer Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix als einziges die qualitativen Kriterien anwendet. Die Untersuchung der weiteren Verfahren in diesem Abschnitt hat daher keine weiteren Erkenntnisse hinsichtlich dieser beiden Kriterien bringen können. Ausschließlich das VDB-Verfahren in Abschnitt 4.2.4 nimmt weitere Überlegungen hinsichtlich dieser beiden Kriterien vor. Die Relevanz der beiden Kriterien wird anhand dieser Überlegungen jedoch nicht in Zweifel gezogen. Zugleich konnte der Vergleich der „Safety Fundamentals“ mit den Signifikanzkriterien in Abschnitt 4.1.1.3 die Relevanz der beiden Kriterien untermauern, da sowohl die Aspekte des Kriteriums „Innovation“ als auch des Kriteriums „Komplexität“ im Verfahren des „Safety Scannings“ enthalten sind.

Die Betrachtung der Verfahren in Abschnitt 4.2 hat zudem gezeigt, dass vor allem die Relevanz der Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ für die Signifikanzbewertung in Frage gestellt wird. Im ORR-Verfahren sollen beide Kriterien dann zum Einsatz kommen, wenn anhand der anderen drei Kriterien keine eindeutige Entscheidung getroffen werden kann. Die genaue Form der Anwendung ist hierbei nicht beschrieben. Vor allem die Relevanz des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ in seiner vorliegenden Form wird angezweifelt. Nach Ansicht von [ORR10] sollte vielmehr anhand dieses Kriteriums die Fähigkeit dafür betrachtet werden, ob, falls eine Gefährdung identifiziert wurde, rechtzeitig eingegriffen werden kann. Hierbei stellt das Dokument eine Verbindung zu dem Kriterium „Überwachung“ dar, da die Notwendigkeit für ein Eingreifen zunächst erkannt werden muss. Auch der in Abschnitt 4.2.4 beschriebene VDB-Vorschlag regt in [VDB10²] an, statt der „Umkehrbarkeit“ vielmehr die Korrigierbarkeit eines erkannten Fehlers zu betrachten. Diese Korrigierbarkeit wird wiederum wie in [ORR10] in Verbindung mit dem Kriterium „Überwachung“ gesehen. Das NeGSt-Verfahren hält für das Kriterium „Überwachung“ fest, dass für Änderungen im Bereich der LST in der Regel von einer guten Überwachbarkeit ausgegangen werden kann. Zudem wird für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ festgestellt, dass im Bereich der LST in der Regel eine Rückfallebene existiert, wodurch das Kriterium seine Relevanz verliert. Weiter wird in [TÜV13] argumentiert, dass die „Umkehrbarkeit“ nur für neue Systeme Relevanz besitzt, für die keine Rückfallebene existiert. Innerhalb des DB-Verfahrens wird die Relevanz der beiden Kriterien nicht angezweifelt. Jedoch macht eine Betrachtung der Erläuterung des Kriteriums „Überwachung“ in der CSM-Verordnung deutlich, dass anhand dieses Kriteriums bereits berücksichtigt wird, ob in geeigneter Weise eingegriffen werden kann. Aus diesem Grund stellt eine Auslegung des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ in die Richtung Korrigierbarkeit eine Überschneidung mit dem Kriterium „Überwachung“ dar. Zum Zweck der Abgrenzung sollte daher die „Umkehrbarkeit“ so ausgelegt werden, wie es der gewählte Begriff sowie die Beschreibung des Kriteriums nahelegt. [SHA10] sieht innerhalb der Beschreibung des SBB-Verfahrens die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ als zu ungenau an, so dass sie innerhalb des Verfahrens keine Anwendung finden. Im ÖBB-Verfahren aus Abschnitt 4.2.1 kommen darüber hinaus keine der qualitativen Kriterien zur Anwendung, so dass dieses Verfahren keine Erkenntnisse bezüglich der qualitativen Kriterien zulässt.

5.3.4 Diskussion der Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“

In Abschnitt 5.2 wurde herausgearbeitet, dass der Zweck der qualitativen Kriterien in der Untersuchung besteht, ob die betreffende Organisation die geplante Änderung wie erwartet durchführen kann. Innerhalb der drei Verfahren, die eine Ausfall-Unsicherheits-Matrix nutzen, werden die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ dahingehend aufgefasst, dass sie die Unsicherheit hinsichtlich der Folgen darstellen. Dies stellt einerseits die Verbindung zwischen dem risikobasierten Kriterium der Ausfallfolgen der Änderung sowie den beiden qualitativen Kriterien dar. Die Auslegung dieser beiden Kriterien im ORR-Verfahren sowie im NeGSt-Verfahren ist jedoch für die Begründung der zugrunde liegenden Risikomatrix deutlich geeigneter und unterscheidet sich von der Interpretation der beiden Kriterien im DB-Verfahren. Bereits bei der Untersuchung der drei Verfahren in Abschnitt 4.2 wurde festgehalten, dass die beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ gemeinsam die Unsicherheit bewerten sollen, die hinsichtlich der Durchführung der Änderung und deren Folgen besteht. Analog zum ORR-Verfahren betrifft dies also nicht explizit nur die Ausfallfolgen, sondern bezieht vielmehr auch die Erfahrung der Organisation mit der Durchführung der Änderung mit ein. Diese Auslegung der beiden Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ ist mit dem in Abschnitt 5.2 festgelegten Zweck der qualitativen Kriterien vereinbar.

Hinsichtlich der Einteilung der Kategorien für diese beiden Kriterien bestehen Unterschiede zwischen dem DB-Verfahren sowie dem NeGSt-Verfahren. Zum einen besitzt das Kriterium „Innovation“ im NeGSt-Verfahren drei unterschiedliche Kategorien. Jedoch konnte gezeigt werden, dass bei der Anwendung des Verfahrens auf die 14 Beispiele die neugeschaffene mittlere Kategorie für keines der Beispiele gewählt wurde. Die Untersuchung des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ hat gezeigt, dass eine Vergrößerung der Anzahl der Kategorien zu Problemen bei der korrekten Zuordnung führen kann. Aus diesem Grund sollte die Kategorienanzahl so gering wie möglich gehalten werden. Die Anwendung des NeGSt-Verfahrens hat zudem gezeigt, dass eine Vergrößerung der Anzahl der Kategorien zumindest für die vorgestellten Beispiele nicht erforderlich war. Somit sollten sowohl das Kriterium „Innovation“ wie auch das Kriterium „Komplexität“ über zwei Kategorien verfügen. Zudem hat die Betrachtung der Beispiele der ERA in Abschnitt 3.2.2 gezeigt, dass diese Beispiele jeweils mit Hilfe von zwei möglichen Ausprägungen (gut/schlecht; hoch/gering) bewertet worden sind. Des Weiteren konnte auch in Abschnitt 3.2.1 gezeigt werden, dass die von der ERA veröffentlichten Dokumente für eine Bewertung der Kriterien anhand von zwei möglichen Ausprägungen sprechen. Damit entspricht eine Anzahl von zwei Kategorien für die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ auch den Aussagen der offiziellen Dokumente der ERA. Damit beide Kriterien dem definierten Zweck der qualitativen Kriterien entsprechen, sollten sie einerseits die Durchführung der Änderung betrachten und hierbei bewerten, ob die Umsetzung der Änderung aus Sicht der betreffenden Organisation komplex oder innovativ ist. Andererseits sollte anhand der beiden Kriterien auch festgestellt werden, ob die Änderung selbst komplex beziehungsweise innovativ ist. Die Auslegung der Präambel unter anderem in [TÜV13] und [HOL13] hat hierzu gezeigt, dass einerseits die Betriebsbedingungen sowie das Material zu untersuchen sind. Somit sollte anhand der beiden Kriterien überprüft werden, ob die Änderung den Einsatz komplexer oder innovativer Technik oder eine Veränderung an dieser umfasst. Gleichzeitig sollte berücksichtigt werden, ob die

Änderung die Neuschaffung komplexer oder innovativer Prozesse und Verfahren erforderlich werden beziehungsweise eine Veränderung an diesen notwendig werden lässt.

5.3.5 Diskussion des Kriteriums „Überwachung“

Das Kriterium „Überwachung“ kommt sowohl im DB-Verfahren als auch im NeGSt-Verfahren zum Einsatz, wobei im NeGSt-Verfahren für den Bereich der LST in der Regel eine gute Überwachbarkeit vorausgesetzt wird. Es ist zudem Teil des ORR-Verfahrens, wobei hier die Aufgabe dieses Kriteriums für die Bewertung nicht endgültig beschrieben ist. Jedoch wird seine Relevanz im Dokument zu dem ORR-Verfahren nicht infrage gestellt. Zudem konnte in der Betrachtung des „Safety Scannings“ und im Vergleich des Verfahrens mit den CSM-Kriterien in Abschnitt 4.1.1.3 gezeigt werden, dass das Kriterium „Überwachung“ Relevanz für die Bewertung von Änderungen besitzt. Gleichzeitig macht die Beschreibung des Eisberg-Modells in [BRA05] deutlich, dass die nachfolgende Überwachung einer Änderung für die Sicherheit relevant ist. Nur eine geringe Zahl von Gefährdungen führt letztendlich zu tatsächlichen Unfällen. Dies verdeutlicht, dass durch eine geeignete Überwachung der Änderung Gefährdungen erkannt werden können, die früher oder später zu einem Unfall führen können. Diese Überwachung besitzt dann besondere Relevanz, falls die Änderung potentielle Gefährdungen besitzen kann, die zu katastrophalen Unfällen führen. Gleiches gilt auch für solche Änderungen, die besonders komplex oder innovativ sind, was die Unsicherheit hinsichtlich der Folgen erhöht, so dass die Wahrscheinlichkeit für nicht berücksichtigte Gefährdungen zunimmt. Auch macht die in Abschnitt 8.1.7 beschriebene „CSM on Monitoring“ deutlich, dass der Aspekt der Überwachung innerhalb der CSM-Verordnung eine wesentliche Rolle einnimmt. Aus den Betrachtungen wird deutlich, dass das Kriterium „Überwachung“ für die in Abschnitt 5.2 definierte Aufgabe der qualitativen Kriterien eine Relevanz besitzt, ob die durchführende Organisation die Änderung sicher umsetzen kann. Wie die Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ sollte das Kriterium „Überwachung“ über zwei mögliche Kategorien verfügen. Hinsichtlich der Beschreibung der beiden Kategorien sollten neben den Erkenntnissen hinsichtlich der Auslegung des Kriteriums wiederum die unterschiedlichen Aspekte berücksichtigt werden, die die qualitativen Kriterien untersuchen.

Anhand dieses Kriteriums sollte somit zum einen bewertet werden, wie die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation zu überwachen ist. Gleichzeitig sollte betrachtet werden, ob die von der Änderung betroffene Technik gut zu überwachen ist und ob falls erforderlich zur Verhinderung eines Unfalls eingegriffen werden kann. Diese Untersuchung sollte zudem für die gegebenenfalls von Änderung betroffenen Prozesse und Verfahren vorgenommen werden. Gleichzeitig sollte wie in [TÜV13] beschrieben geprüft werden, ob diese Überwachung anhand bewährter Prozesse und Verfahren möglich ist oder ob für die Überwachung zunächst geeignete Prozesse und Verfahren geschaffen werden müssen. Gleichzeitig umfasst diese Betrachtung auch, ob bewährte Technik für die Überwachung eingesetzt wird oder ob neue oder geänderte Technik erforderlich ist.

5.3.6 Diskussion des Kriteriums „Umkehrbarkeit“

Die innerhalb dieser Arbeit erfolgten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Relevanz des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ am meisten in Frage gestellt wird. Dies betrifft nicht nur die

theoretischen Überlegungen in Kapitel 3, in Kapitel 4 und in diesem Kapitel 5 sondern auch die konkrete Anwendung des Kriteriums im Rahmen der Signifikanzbewertung. Weder die Betrachtung der ERA-Beispiele in Abschnitt 3.2.2 noch die Betrachtung der bewerteten Änderungen mit Hilfe des NeGSt-Verfahrens in [TÜV13] konnten einen Hinweis auf die Relevanz dieses Kriteriums erbringen. Jedoch hat der Vergleich der Signifikanzkriterien mit den „Safety Fundamentals“ in Abschnitt 4.1.1.3 gezeigt, dass die Umkehrbarkeit für die Gewichtung der einzelnen Fundamentals im Verfahren des „Safety Scannings“ genutzt worden ist und somit einen zentralen Aspekt dieses Verfahrens darstellt. Besitzt eine Änderung einen besonders großen Einfluss auf solche Fundamentals, für die im Nachhinein erkannte Probleme einen besonders hohen Aufwand erfordern, hat dies einen direkten Einfluss auf die Ergebnisdarstellung in Form der „Web-Charts“. Auch wenn diese Erläuterungen gezeigt haben, dass Aspekte dieses Kriteriums Einfluss auf die Bewertung von Änderung besitzen können, ist die Relevanz dieses Kriteriums „Umkehrbarkeit“ weiterhin unklar. Trotz allem ist die „Umkehrbarkeit“ in der CSM-Verordnung als ein Kriterium genannt, mit dem die Signifikanzbewertung erfolgen soll. Ohne einen fundierten Nachweis sollte daher nicht der Wille des europäischen Gesetzgebers übergangen werden, dass auch das Kriterium „Umkehrbarkeit“ in die Signifikanzbewertung miteinbezogen wird.

Somit muss dieses Kriterium Teil des Verfahrens zur Signifikanzbewertung sein. Wie die anderen qualitativen Kriterien sollte es über zwei Kategorien verfügen. Für die anderen qualitativen Kriterien konnte gezeigt werden, dass sie sowohl die Änderung selbst als auch die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation bewerten sollen. Neben der infrage zu stellenden Relevanz nimmt dieses Kriterium auch bezüglich dieses Aspektes eine Sonderrolle innerhalb der qualitativen Kriterien ein. Mit Hilfe der „Umkehrbarkeit“ wird ausschließlich die Änderung selbst bewertet und inwiefern diese von der betroffenen Organisation rückgängig zu machen ist. Eine zusätzliche Untersuchung der Umkehrbarkeit der Durchführung der Änderung ergibt in diesem Zusammenhang keinen Sinn. Gleichzeitig wird im DB-Verfahren der Aspekt betrachtet, ob die Änderung mit einem vertretbaren Aufwand umzukehren ist. Im Weiteren soll auch untersucht werden, ob die Änderung in Schritten einzuführen ist und ob ein Parallelbetrieb zwischen geändertem und nicht geändertem System möglich ist. Als weiterer Aspekt soll im DB-Verfahren für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ bewertet werden, ob ein eindeutiger und zu überwachender Zeitpunkt existiert, ab dem die Änderung nicht mehr umzukehren ist. Das NeGSt-Verfahren hingegen betrachtet neben dem Hauptaspekt, ob die Änderung umzukehren ist, nur den zusätzlichen Aspekt, ob eine angemessene betriebliche Rückfallebene existiert. Hinsichtlich dieser drei zusätzlichen Aspekte ist festzuhalten, dass die Berücksichtigung einer eventuell vorhandenen Rückfallebene mit dem Kriterium „Umkehrbarkeit“ hilfreich sein kann, obwohl dies nicht der Beschreibung des Kriteriums entspricht. Die Änderung wäre vor diesem Hintergrund zwar nicht umkehrbar, jedoch sorgt die Rückfallebene dafür, dass falls notwendig keine sofortige Umkehrung der Änderung erforderlich wird. Dasselbe gilt für einen möglichen Parallelbetrieb von geändertem und nicht geändertem System. Hingegen ist festzuhalten, dass die Betrachtung der Existenz eines zu überwachenden Zeitpunkts, ab dem eine Änderung nicht mehr umkehrbar ist, keine Relevanz für die Signifikanz der Änderung besitzt. Zum Zeitpunkt der Signifikanzbewertung der Änderung kann keine Aussage darüber getroffen werden, zu welchem Zeitpunkt eine Umkehrung der Änderung gegebenenfalls erforderlich wird. Die

Kenntnis über einen klar definierten Zeitpunkt, bis zu dem die Änderung umkehrbar ist, schließt nicht aus, dass die Änderung nach diesem letztmöglichen Zeitpunkt noch umgekehrt werden muss. In diesem Fall wäre die Änderung trotz Kenntnis dieses letztmöglichen Zeitpunkts nicht umkehrbar. Als dritter Aspekt wird vom DB-Verfahren untersucht, ob die Änderung mit einem vertretbaren Aufwand umkehrbar ist. Letztendlich ist die Berücksichtigung dieses zusätzlichen Aspekts gerechtfertigt. Es sind nur wenige Änderungen denkbar, die nicht umkehrbar sind, falls die benötigte Zeit und die erforderlichen Kosten keine Relevanz besitzen. Vor allem der zeitliche Aspekt besitzt für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ jedoch Relevanz, da ohne vorhandene Rückfallebene das geänderte System entweder für die Zeit der Umkehrung beziehungsweise der Fehlerbehebung nicht zur Verfügung steht oder das fehlerhafte System zunächst weiter betrieben werden muss. Das Kriterium „Umkehrbarkeit“ besitzt anhand dieser qualitativen Betrachtung somit vor allem für technische Änderungen Relevanz, bei der Systeme betroffen sind, für die einerseits keine Rückfallebene existiert und die andererseits nicht ohne Weiteres aus dem Betrieb genommen werden können.

5.4 Übersicht über die Kriterien und ihre Kategorien

Im vorangegangenen Abschnitt konnte gezeigt werden, welche Aspekte die einzelnen Kriterien auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit bewerten sollen und wie daher die Beschreibung der verschiedenen Kategorien aussehen sollte. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, über welche Anzahl an Kategorien die jeweiligen Kriterien verfügen sollten. Zudem konnte bereits dargestellt werden, dass die Anwendung des DB-Verfahrens auch anhand eines Punkteschemas erfolgen kann. Das NeGSt-Verfahren macht von diesem Punkteschema explizit Gebrauch. Für dieses Punkteschema ist eine Zuordnung der Kategorien zu Punktwerten erforderlich. Hierfür soll zunächst die Zuordnung des DB-Verfahrens übernommen werden.

Beschreibung der Kriterien zur Bewertung von Änderungen an technischen Systemen				
Kriterium	Beschreibung des Kriteriums	Kategorien der Kriterien		
		Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Punktwert der Kategorie
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	(1) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung ein Schaden an Personen, Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt verursacht wird <u>oder</u> (2) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung neue Gefährdungen oder Risiken entstehen oder verändert werden?	Änderung sicherheitsrelevant	Ja, die Möglichkeit für (1) und/ oder (2) besteht.	-
		Änderung nicht sicherheitsrelevant	Nein, die Möglichkeit für (1) <u>und</u> für (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	-
Folge von Ausfällen	Welche Folgen kann der Ausfall des durch die Änderung betroffenen Systems im Worst-Case Szenario unter Berücksichtigung der Sicherheitsbarrieren haben?	katastrophal SIL 4	Mehrere Tote und/oder extreme Schäden für die Umwelt Falls SIL 4 für das zu bewertende System vorliegt.	4
		kritisch SIL 3	Schwere Verletzungen und/oder wenige Tote und oder großer Schaden für die Umwelt Falls SIL 3 für das zu bewertende System vorliegt.	3
		marginal SIL 2	Leichte Verletzungen und/oder Schäden für die Umgebung Falls SIL 2 für das zu bewertende System vorliegt.	2
		unbedeutend SIL 1	mögliche leichte Verletzungen Falls SIL 1 für das zu bewertende System vorliegt.	1
Innovation	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation innovativ? <u>oder</u> (2) Wird durch die Änderung für die durchführende Organisation neue und gleichzeitig innovative Technik eingesetzt?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	2
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0
Komplexität	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation komplex? <u>oder</u> (2) Wird durch die Änderung neue komplexe Technik erforderlich oder sind Änderungen an bestehender komplexer Technik notwendig?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	1
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0
Überwachbarkeit	(1) Ist die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation gut zu überwachen? <u>und</u> (2) Ist die von der Änderung betroffene Technik gut zu überwachen und kann dies anhand von bewährter Technik beziehungsweise anhand von bewährten Prozessen und Verfahren erfolgen? <u>und</u> (3) Ist ein Eingreifen zur Verhinderung eines Unfalls falls erforderlich möglich?	gering	Nein, (1) und/ oder (2) und/ oder (3) sind für dieses betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	1
		hoch	Ja, (1), (2) <u>und</u> (3) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0
Umkehrbarkeit	(1) Kann die Änderung durch die durchführende Organisation mit einem vertretbaren Aufwand (zeitlich/ monetär) rückgängig gemacht werden? <u>oder</u> (2) Existiert eine Rückfallebene beziehungsweise ist ein Parallelbetrieb von geändertem und nicht geändertem System möglich?	nein	Nein, (1) <u>und</u> (2) sind für das betrachte Beispiel nicht erfüllt.	1
		ja	Ja, (1) <u>oder</u> (2) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0

Tabelle 24: Kriterien zur Bewertung von Änderungen an technischen Systemen

Das NeGSt-Verfahren verfügt wie bereits dargestellt für das Kriterium „Innovation“ über drei Kategorien, was den einzigen Unterschied hinsichtlich der Kategorien sowie hinsichtlich der Punktwerte zum DB-Verfahren darstellt. Da begründet werden konnte, dass die Wahl von zwei Kategorien auch für das Kriterium „Innovation“ sinnvoll ist, besteht mit dieser Anpassung kein weiterer Unterschied zwischen beiden Verfahren. Darüber hinaus konnte in Abschnitt 5.3 gezeigt werden, dass die Betrachtung der Ausfallfolgen für Änderungen an Verfahren und Prozessen nur anhand von zwei statt vier Kategorien erfolgen sollte. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Kriterien und ihre Kategorien in zwei unterschiedlichen Tabellen zusammenfassend darzustellen. Die Tabelle 24 enthält die Beschreibungen der Kriterien für die Bewertung von Änderungen an technischen Systemen. Dabei ist zu beachten, dass die Zuordnung der SIL-Werte zu den Kategorien der Ausfallfolgen nach EN 50126 keine Gleichsetzung darstellt. Falls vorhanden sollte der SIL gewählt werden, wobei wie in Abschnitt 5.3.2 diskutiert diese Einordnung jeweils nicht ohne kritische Betrachtung gewählt werden sollte. So sind marginale Änderungen an SIL 4-Systemen denkbar, die gegebenenfalls nur geringe Ausfallfolgen besitzen können.

Beschreibung der Kriterien zur Bewertung von Änderungen an Prozessen und Verfahren				
Kriterium	Beschreibung des Kriteriums	Kategorien der Kriterien		
		Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Punktwert der Kategorie
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	(1) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung ein Schaden an Personen, Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt verursacht wird? oder (2) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung neue Gefährdungen oder Risiken entstehen oder verändert werden?	Änderung sicherheitsrelevant	Ja, die Möglichkeit für (1) und/ oder (2) besteht.	-
		Änderung nicht sicherheitsrelevant	Nein, die Möglichkeit für (1) und für (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	-
Folge von Ausfällen	Welche Folgen kann der Ausfall der durch die Änderung betroffenen Verfahren und Prozesse im Worst-Case Szenario unter Berücksichtigung der Sicherheitsbarrieren haben?	kritische bis katastrophale Ausfallfolgen	Schwere Verletzungen und wenige bis hin zu mehreren Toten und/oder große bis hin zu extremen Schäden für die Umwelt	4
		unbedeutende bis marginale Ausfallfolgen	mögliche leichte Verletzungen bis hin zu leichten Verletzungen und/oder Schäden für die Umgebung	2
Innovation	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation innovativ? oder (2) Werden durch die Änderung für die durchführende Organisation neue und gleichzeitig innovative Prozesse und Verfahren erforderlich?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	2
		gering	Nein, (1) und (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0
Komplexität	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation komplex? oder (2) Werden durch die Änderung neue komplexe Prozesse und Verfahren erforderlich oder sind Änderungen an bestehenden komplexen Prozessen und Verfahren notwendig?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	1
		gering	Nein, (1) und (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0
Überwachbarkeit	(1) Ist die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation gut zu überwachen? und (2) Sind die von der Änderung betroffenen oder durch sie erforderlichen Prozesse und Verfahren gut zu überwachen und kann dies anhand von bewährter Technik beziehungsweise anhand von bewährten Prozessen und Verfahren erfolgen? und (3) Ist ein Eingreifen zur Verhinderung eines Unfalls falls erforderlich möglich?	gering	Nein, (1) und/ oder (2) und/ oder (3) sind für dieses betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	1
		hoch	Ja, (1), (2) und (3) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0
Umkehrbarkeit	(1) Kann die Änderung durch die durchführende Organisation mit einem vertretbaren Aufwand (zeitlich/ monetär) rückgängig gemacht werden? oder (2) Existiert eine Rückfallebene beziehungsweise ist ein Parallelbetrieb von geändertem und nicht geändertem System/ Prozess möglich?	nein	Nein, (1) und (2) sind für das betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	1
		ja	Ja, (1) oder (2) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0

Tabelle 25: Kriterien zur Bewertung von Änderungen an Prozessen und Verfahren

Die Tabelle 25 enthält die Kriterienbeschreibungen für solche Änderungen, die Prozesse und Verfahren betreffen. Die Punktwerte des Kriteriums „Ausfallfolgen“ entsprechen in dieser Tabelle dem Punktwert der jeweils höheren der beiden Kategorien. Darüber hinaus existieren Änderungen, die sowohl technische Änderungen als auch Prozesse und Verfahren betreffen. In diesem Fall ist eine Anwendung der Kriterien aus beiden Tabellen sinnvoll, wobei die höchste Kategorie beider Tabellen für das jeweils betrachtete Kriterium maßgeblich ist.

5.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Innerhalb dieses Kapitels 5 konnten nun die wesentlichen Aspekte des Verfahrens zur Signifikanzbewertung festgelegt werden. Zum einen wurde in diesem Zusammenhang der Begriff der Änderung definiert. Im Weiteren konnte der Begriff „Signifikanz“ für das betrachtete Verfahren erläutert und der Zweck der Signifikanzbewertung festgelegt werden. Darüber hinaus wurde in Abbildung 18 das Verfahren zur Signifikanzbewertung in den

gesamten Prozess der CSM-Verordnung eingeordnet. Diese Einordnung verdeutlicht die Auswirkungen, die die Signifikanzbewertung auf das weitere Vorgehen besitzt. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse konnte gezeigt werden, dass das Verfahren zur Signifikanzbewertung über risikobasierte und qualitative Kriterien verfügen sollte. In Abschnitt 5.3 wurde daraufhin beschrieben, welche Aspekte von den jeweiligen Kriterien betrachtet werden sollten. In diesem Zusammenhang konnte die Anzahl der Kategorien sowie die Beschreibung der jeweiligen Kategorien vorgenommen werden. Die Punktwerte der Kategorien entsprechen dabei denen des DB-Verfahrens. Aus den Erläuterungen wird deutlich, dass alle wesentlichen Teile des Verfahrens zur Signifikanzbewertung anhand der Untersuchungen in Kapitel 3 und 4 sowie den weitergehenden Betrachtungen in diesem Kapitel 5 festgelegt werden konnten. Jedoch wurde bereits in der Betrachtung des DB-Verfahrens in Abschnitt 4.2.6 festgehalten, dass das in diesem Verfahren implizit enthaltene Punkteschema eine Gewichtung enthält, die über keine Begründung verfügt. Diese unbegründete Gewichtung ist somit auch Teil der Tabelle 24 sowie der Tabelle 25. Neben dieser Gewichtung verfügt der Punktwert im DB-Verfahren wie auch im NeGSt-Verfahren, ab dem eine Änderung als signifikant eingestuft wird, über keinerlei Begründung. Darüber hinaus steht weiterhin die Frage nach der Relevanz der einzelnen Kriterien im Raum, die bisher allein anhand von theoretischen Betrachtungen in Abschnitt 5.3 diskutiert wurde.

Innerhalb der Untersuchung des „Safety Scannings“ in Abschnitt 4.1.1 wurde gezeigt, dass die Aspekte der Kriterien „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ in diesem Verfahren enthalten sind und diese Kriterien somit eine Relevanz für die Bewertung von Änderungen besitzen. Jedoch konnte auch gezeigt werden, dass eine Ermittlung der Gewichtung dieser Kriterien mit Hilfe des „Safety Scannings“ nur mit Einschränkungen möglich ist. Auch sind durch das Fehlen einer Risikobetrachtung die Aspekte des Kriteriums der Ausfallfolgen im „Safety Scanning“ nicht enthalten, so dass auch bei der Ausräumung aller Schwierigkeiten nur eine Gewichtung für die qualitativen Kriterien bestimmt werden kann. Die Betrachtung des COCOMO II-Modells in Abschnitt 4.1.4 hat gezeigt, dass dieses Modell über eine explizite und begründete Gewichtung seiner Einflussfaktoren verfügt. Jedoch konnte wie beim „Safety Scanning“ festgehalten werden, dass anhand des Vergleichs der Einflussfaktoren des COCOMO II-Modells mit den Kriterien zur Signifikanzbewertung ausschließlich qualitative Aussagen gezogen werden können. Da das COCOMO II-Modell zur Aufwandseinschätzung entwickelt wurde, verfügt es über keine Aspekte, mit denen eine Risikobetrachtung erfolgt. Es sind abgesehen vom Kriterium „Umkehrbarkeit“ die Aspekte der weiteren qualitativen Kriterien im Modell zu finden. Dies lässt zwar wiederum einen Schluss auf die Relevanz dieser Kriterien zu, jedoch existieren aufgrund der unterschiedlichen Betrachtung auch keine Aspekte des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ innerhalb des Verfahrens. Daher kann auch mit diesem Modell keine Gewichtung für alle Kriterien hergeleitet werden. Jedoch hat die Untersuchung des Modells gezeigt, dass die Formel (2) zur Berechnung des Projektaufwands in Personenmonaten, wie in Anhang 8.2.3.1 geschehen, in ein Score-Modell transformiert werden kann. Hierbei werden die einzelnen Einflussfaktoren in einer Addition für die Berechnung des Projektaufwands berücksichtigt. Ein solcher Ansatz für die qualitativen sowie risikobasierten Kriterien liefert zudem eine Begründung für das lineare Modell der Formel (4), die das im DB-Verfahren implizit vorhandene Punkteschema beschreibt.

Des Weiteren hat die Betrachtung des COCOMO II-Modells gezeigt, dass die Gewichtung der einzelnen Einflussfaktoren neben einer eingangs erfolgten Expertenschätzung auf Grundlage der Untersuchung von 161 real existierenden Softwareprojekten vorgenommen wurde. Die Daten dieser Softwareprojekte wurden dazu genutzt, die Stärke des Zusammenhangs zwischen den jeweiligen Einflussfaktoren und dem Projektaufwand mittels einer Regressionsanalyse zu bestimmen. Somit führt die Untersuchung des COCOMO II-Modells zu der Erkenntnis, die weiterhin noch ungeklärten Aspekte mit Hilfe der mathematischen Verfahren der multivariaten Statistik zu untersuchen. Hierzu muss geprüft werden, ob sich die Bestimmung der Gewichtung der Kriterien und damit auch die Bestimmung der Relevanz dieser Kriterien sowie die Bestimmung des Grenzwerts, ab dem eine Änderung signifikant ist, auf ein mathematisches Problem zurückführen lassen.

6 Weitergehende Untersuchungen

Das Kapitel 5 hat zu der Erkenntnis geführt, dass die wesentlichen Teile des Verfahrens zur Signifikanzbewertung bis auf die Gewichtung der Kriterien sowie deren Relevanz anhand der durchgeführten Untersuchungen festgelegt werden konnten. Zudem konnte neben der Gewichtung auch der Grenzwert, ab dem eine Änderung in dem vorliegenden Punkteschema als signifikant eingestuft wird, anhand der bisher erfolgten Betrachtung nicht bestimmt werden. Wie in Abschnitt 5.5 beschrieben, soll nun in diesem Kapitel eine weitergehende Untersuchung der zu klärenden Aspekte mit Hilfe der multivariaten Statistik erfolgen. Dies ist insofern sinnvoll, da die vorangegangenen Betrachtungen gezeigt haben, dass für die innerhalb dieser Arbeit betrachtete Problemstellung ein Klassifikationsproblem vorliegt. Anhand der Formel (4) des DB-Verfahrens können Änderungen mit Hilfe der Kriterien der CSM-Verordnung als signifikant oder nicht signifikant klassifiziert werden. Jedoch liegt für diese Formel und die darin vorhandene Gewichtung keine wissenschaftliche Herleitung oder Begründung vor. Die weiteren Aspekte des vorliegenden Klassifikationsproblems und deren Lösung mit einem geeigneten Verfahren der multivariaten Statistik soll im Folgenden dargestellt werden.

6.1 Übersicht über die multivariate Statistik

Die multivariate Statistik kann angewendet werden, wenn gleichzeitig mehr als zwei Merkmale untersucht werden. Ein solcher Fall liegt laut [ECK02] beispielsweise dann vor, wenn im Rahmen einer Regressionsanalyse die Produktnachfrage in Abhängigkeit von dem Produktpreis und dem Einkommen untersucht wird. Auch wurde wie in Abschnitt 4.1.4 beschrieben die Regressionsanalyse zur Untersuchung der Einflussfaktoren auf den Projektaufwand im Rahmen der Entwicklung des COCOMO II-Modells genutzt. Darüber hinaus wird in der multivariaten Statistik zwischen strukturen-prüfenden und strukturen-entdeckenden Verfahren unterschieden. Die Zielsetzung struktur-prüfender Verfahren ist primär die Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Variablen. Mit solchen Verfahren wird in der Regel die statistische Abhängigkeit einer abhängigen Variablen von mehreren unabhängigen Variablen untersucht. Im Gegensatz dazu werden die struktur-entdeckenden Verfahren dazu eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen Objekten oder Variablen zu entdecken. Dies bedeutet auch, dass bei der Anwendung struktur-prüfender Verfahren bereits eine Unterscheidung zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen vorliegt. Für die struktur-entdeckenden Verfahren ist diese Unterscheidung nicht notwendig, da die Variablen hier einheitlich behandelt werden. Zu den struktur-entdeckenden Verfahren für die Entdeckung möglicher Beziehungszusammenhänge sind nach [BAC11] unter anderem die Faktorenanalyse, die Clusteranalyse, die Korrespondenzanalyse sowie die neuronalen Netze zu zählen.

Die Unterscheidung macht deutlich, dass für die weitere Untersuchung die struktur-prüfenden Verfahren von Bedeutung sind, da eine Unterteilung zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen für die zu untersuchende Fragestellung vorliegt. Es kann festgehalten werden, dass anhand eines struktur-prüfenden Verfahrens der multivariaten Statistik die genaue Abhängigkeit der abhängigen Variable „Signifikanz“ von den vorhandenen unabhängigen Variablen in Form der Kriterien zur Signifikanzbewertung untersucht werden soll.

Die struktur-prüfenden Verfahren lassen sich wiederum danach unterteilen, über welches Skalenniveau jeweils die abhängigen sowie die unabhängigen Variablen verfügen müssen. Dabei wird unterschieden zwischen einem nominalen und einem metrischen Skalenniveau. Nominalskalen wie beispielsweise das Geschlecht mit den Ausprägungen männlich und weiblich stellen Klassifizierungen qualitativer Ausprägungen von Eigenschaften dar. Diese Nominalskalen sind zu den nicht-metrischen Skalen zu zählen. Im Gegensatz dazu gehören die Intervallskala und die Ratioskala zu den metrischen Skalen. Die Intervallskala verfügt wie die Ratioskala über gleichgroße Abschnitte, besitzt aber im Gegensatz zur Ratioskala keinen natürlichen Nullpunkt. Die Tabelle 26 zeigt die Unterteilung aus [BAC11] der struktur-prüfenden Verfahren anhand der Skalenniveaus der abhängigen sowie unabhängigen Variablen.

		unabhängige Variable	
		metrisches Skalenniveau	nominales Skalenniveau
abhängige Variable	metrisches Skalenniveau	Regressionsanalyse, Zeitreihenanalyse	Varianzanalyse, Regression mit Dummies
	nominales Skalenniveau	Diskriminanzanalyse, Logistische Regression	Kontingenzanalyse, Auswahlbasierte Conjoint-Analyse

Tabelle 26: Unterteilung der struktur-prüfenden Verfahren

Bei der Betrachtung der vorliegenden Problemstellung wird deutlich, dass die unabhängige Variable „Signifikanz“ ausschließlich über die beiden qualitativen Ausprägungen „signifikant“ und „nicht signifikant“ und damit über ein nominales Skalenniveau verfügt. Die unabhängigen Variablen in Form der fünf Kriterien „Folge von Ausfällen“, „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ verfügen wie in Tabelle 24 und Tabelle 25 dargestellt durch die Zuordnung der Einteilung der Kategorien zu Punktwerten über eine Rangordnung, die als metrisches Skalenniveau akzeptiert werden kann. Hierbei wird angenommen, dass die Skala des Kriteriums „Folge von Ausfällen“ und auch die Skalen der weiteren Kriterien intervallskaliert sind. Die Tabelle 26 macht für die vorliegenden Skalenniveaus der abhängigen und der unabhängigen Variablen deutlich, dass die Diskriminanzanalyse sowie die logistische Regression in Betracht kommen. Diese beiden multivariaten Verfahren sollen im folgenden Abschnitt 6.2 erläutert werden.

6.2 Erläuterung der relevanten statistischen Verfahren

6.2.1 Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse wird für die Analyse von Gruppenunterschieden eingesetzt. Dabei müssen wie bereits erläutert die abhängigen Variablen nominal skaliert und die unabhängigen Variablen metrisch skaliert sein. Anhand von vorhandenen Elementen werden die Gruppenzugehörigkeit der Elemente sowie die Merkmale dieser Elemente untersucht. Für neue Elemente lässt sich daraufhin aufgrund ihrer Merkmale eine Prognose der Gruppenzugehörigkeit ermitteln, ohne diese zu kennen. Dabei können mit der Diskriminanzanalyse laut [BAC11] vor allem drei Fragestellungen beantwortet werden. Dies ist zum einen, ob sich die Gruppen hinsichtlich der Variablen signifikant voneinander unterscheiden. Zum

anderen kann die Fragestellung beantwortet werden, ob und welche Variablen für die Unterscheidung zwischen den Gruppen relevant sind. Im Weiteren kann das Verfahren zur Klassifizierung eingesetzt werden, um ein neues Element, dessen Merkmale bekannt sind, einer Gruppe zuzuordnen. Dieses Verfahren wird neben der Kreditwürdigkeitsprüfung vor allem auch bei der Wähleranalyse, bei der Analyse der Markenwahl beim Kauf von Konsumgütern oder auch bei der Untersuchung von Erfolgsaussichten von neuen Produkten genutzt. Diese Erläuterungen machen deutlich, dass anhand dieses Verfahrens die vorhandene Problemstellung der fehlenden Gewichtung der Kriterien untersucht werden kann. Die Voraussetzung für die Anwendung der Diskriminanzanalyse ist das Vorliegen von Daten, für die sowohl die Merkmalsvariablen der Elemente als auch deren Gruppenzugehörigkeit bekannt ist. Damit müssen für die Anwendung der Diskriminanzanalyse Daten für Änderungen vorliegen, für die einerseits die Gruppenzugehörigkeit „signifikant“ oder „nicht signifikant“ und andererseits die Merkmalsvariablen aller Kriterien in metrisch skalierte Form vorliegen. Die Diskriminanzanalyse selbst lässt sich in sechs Schritte einteilen. Diese sechs Schritte sind die Definition der Gruppen, die Formulierung der Diskriminanzfunktion, die Schätzung der Diskriminanzfunktion, die Prüfung der Diskriminanzfunktion, die Prüfung der Merkmalsvariablen sowie die Klassifikation neuer Elemente. Hierbei soll die Formulierung der Diskriminanzfunktion für das grundlegende Verständnis dieses Verfahrens näher erläutert werden. Zudem kommt vor allem den Konzepten zur Klassifikation neuer Elemente eine wichtige Rolle zu. Am Ende dieser Untersuchung soll deutlich werden, wie eine Änderung anhand ihrer Merkmalsvariablen beziehungsweise Kriterien der Gruppe „signifikant“ oder der Gruppe „nicht signifikant“ zugeordnet werden kann. Die Erläuterung orientiert sich dabei am Vorgehen in [BAC11].

Die Definition der Gruppe ergibt sich in diesem Fall direkt aus der vorhandenen Problemstellung, eine Änderung anhand von mehreren Kriterien der Gruppe „signifikant“ oder der Gruppe „nicht signifikant“ zuzuordnen. Für die Diskriminanzanalyse erhalten die Gruppen eine Gruppierungsvariable. Für die vorliegende Problemstellung entspricht die Gruppe „signifikant“ der Gruppierungsvariablen 1 und die Gruppe „nicht signifikant“ der Gruppierungsvariablen 0. Das Ziel der Diskriminanzanalyse ist die Formulierung einer Diskriminanzfunktion, welche zum Teil auch als Trennfunktion bezeichnet wird, und die eine möglichst optimale Trennung zwischen den Gruppen zulässt. Gleichzeitig ermöglicht diese Diskriminanzfunktion eine Aussage über die Relevanz der einzelnen Merkmalsvariablen hinsichtlich ihrer diskriminatorischen Bedeutung. Die Diskriminanzfunktion besitzt dabei die allgemeine Form aus Formel (5).

$$(5) \quad Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_j X_j$$

mit

$Y = \text{Diskriminanzvariable}$

$X_j = \text{Merkmalsvariable } j \ (j = 1, 2, \dots, J)$

$b_j = \text{Diskriminanzkoeffizient für Merkmalsvariable } j$

$b_0 = \text{Konstantes Glied}$

Für diese Diskriminanzfunktion müssen nun die Diskriminanzkoeffizienten für alle Merkmalsvariablen sowie das konstante Glied auf Grundlage der vorhandenen Daten

geschätzt werden. Diese Schätzung der unbekannten Diskriminanzkoeffizienten b_j erfolgt über die Maximierung des Diskriminanzkriteriums, das die Unterschiedlichkeit der Gruppen misst (vgl. Abschnitt 6.5.3). Hierbei wird neben der Distanz der Gruppenzentroiden auch die Streuung der einzelnen Gruppen berücksichtigt. Die Abbildung 19 stellt die grundlegende Idee der Diskriminanzanalyse für den Zwei-Gruppenfall mit zwei unabhängigen Variablen x_1 und x_2 dar. Die ermittelte Diskriminanzfunktion kann für diesen vereinfachten Fall als Gerade interpretiert werden, die zwischen den beiden Gruppen A und B möglichst optimal trennt. Zudem sind auch die beiden Gruppen-Zentroiden dargestellt.

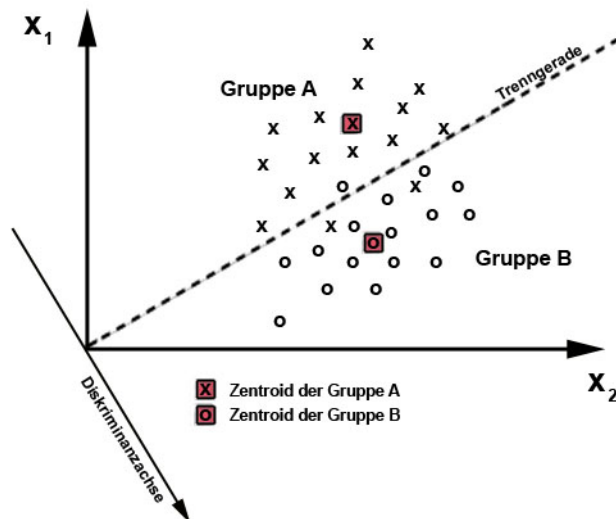


Abbildung 19: Geometrische Darstellung der Diskriminanzanalyse

Sind das konstante Glied sowie die Diskriminanzkoeffizienten geschätzt worden und somit vorhanden, kann für jedes Element anhand des Einsetzens der Merkmalsvariablen des Elements in die Diskriminanzfunktion ein Diskriminanzwert Y_{gi} bestimmt werden. Da jedes dieser Elemente bereits einer Gruppe zugeordnet ist, lassen sich die Gruppen durch ihren mittleren Diskriminanzwert beschreiben, der als Zentroid bezeichnet wird. Die Unterschiedlichkeit zweier Gruppen ist durch die Differenz der Schwerpunkte der beiden Gruppen messbar. Darüber hinaus können die Zentroiden der Gruppen auf der sogenannten Diskriminanzachse abgetragen werden. Zusätzlich lassen sich auch die verschiedenen Elemente auf dieser Achse darstellen. Dies verdeutlicht, dass die Unterschiede zwischen den Elementen auch als Distanzen betrachtet werden können. Zudem lässt sich ein kritischer Diskriminanzwert Y^* bestimmen, der auf der Diskriminanzachse zwischen den Zentroiden der beiden Gruppen liegt und als Trennkriterium die Klassifizierung neuer Elemente erlaubt. Die Abbildung 20 zeigt die erläuterte Diskriminanzachse sowie die Gruppen-Zentroiden und den kritischen Diskriminanzwert und orientiert sich an einer Darstellung aus [BAC11].

In diesem Beispiel würde ein Element mit einem Diskriminanzwert, welcher kleiner als der kritische Diskriminanzwert Y^* ist, der Gruppe A zugeordnet werden. Ist hingegen der Diskriminanzwert für dieses Element größer als der kritische Diskriminanzwert, ist dieses neue Element der Gruppe B zuzuordnen. Der Vergleich des Diskriminanzwerts eines neuen Elements mit dem kritischen Diskriminanzwert stellt somit eine Möglichkeit der Klassifizierung dar.

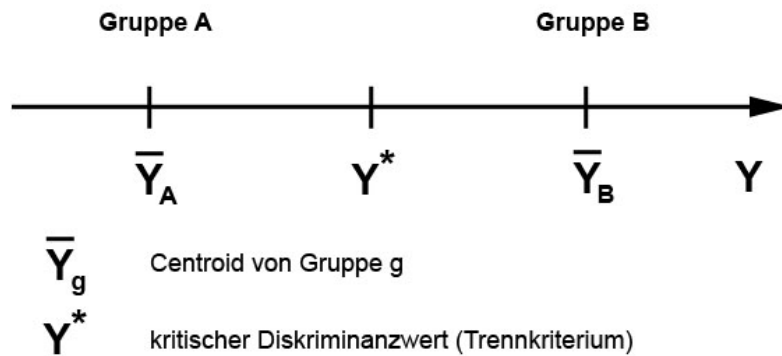


Abbildung 20: Darstellung der Diskriminanzachse

Vor diesem Hintergrund verdeutlicht die Betrachtung der Formel (4), die das Entscheidungskriterium des im DB-Verfahren implizit vorhandenen Punkteschemas ausdrückt, dass diese Formel (4) unter bestimmten Voraussetzungen mit der Klassifizierung eines neuen Elements mit Hilfe des kritischen Diskriminanzwerts vergleichbar ist. Zum einen sind im Gegensatz zu Formel (5) in Formel (4) keine Koeffizienten explizit aufgeführt. Diese Koeffizienten sind bereits im Punkteschema des DB-Verfahrens und den einzelnen Punktwerten der Kategorien enthalten. Beispielsweise würde der Koeffizient des Kriteriums „Innovation“ den Wert Zwei und der des Kriteriums „Komplexität“ Eins betragen. Darüber hinaus würde der kritische Diskriminanzwert in diesem Fall den Wert Null besitzen. Für das konstante Glied b_0 würde für diesen Fall gelten:

$$-6 < b_0 < -5$$

Da das Punkteschema des DB-Verfahrens nur ganzzahlige Werte zulässt, kann das konstante Glied jeden beliebigen Wert innerhalb dieses Intervalls einnehmen. Damit kann das Punkteschema des DB-Verfahrens mit folgender Diskriminanzfunktion aus Formel (6) gleichgesetzt werden, ohne etwas an seiner Aussage zu verändern. Wie bereits erläutert, sind die Diskriminanzkoeffizienten bereits in den Punktwerten der einzelnen Kriterien enthalten.

$$(6) \quad Y_i = -5,5 + x_{i,Ausfallf.} + x_{i,Inno.} + x_{i,Kompl.} + x_{i,Umk.} + x_{i,Überw.}$$

Eine Änderung kann somit durch das Einsetzen der Punktwerte der einzelnen Kriterien in die Formel (6) einer der beiden Gruppen „signifikant“ oder „nicht signifikant“ zugeordnet werden, indem ein Vergleich des so berechneten Diskriminanzwerts mit dem kritischen Diskriminanzwert Y^* erfolgt. Somit gilt:

$$Y_i > 0 \text{ Klassifizierung der Änderung als signifikant}$$

$$Y_i < 0 \text{ Klassifizierung der Änderung als nicht signifikant}$$

$$\text{mit } Y^* = 0$$

Diese Betrachtung macht deutlich, dass das implizit im DB-Verfahren vorhandene Punkteschema eine Signifikanzentscheidung vornimmt, die mit der Klassifikation neuer Elemente anhand des kritischen Diskriminanzwerts gleichgesetzt werden kann. Dies bedeutet auch, dass das in Tabelle 24 beziehungsweise auch in Tabelle 25 enthaltene Punkteschema

mit den Ergebnissen einer Diskriminanzanalyse verglichen werden kann. Dies betrifft sowohl die Gewichtung der einzelnen Kriterien wie auch den Wert, ab dem eine Änderung als signifikant eingestuft wird. Das bedeutet, dass die Gültigkeit des vorhandenen Modells nachgewiesen werden könnte, falls das konstante Glied im beschriebenen Intervall liegen würde und darüber hinaus alle Diskriminanzkoeffizienten der Einflussfaktoren näherungsweise den Wert Eins besitzen würden. Voraussetzung hierfür ist wiederum, dass der kritische Diskriminanzwert den Wert Null besitzt. Im Zwei-Gruppen-Fall wird der Wert des konstanten Glieds laut [BAC11] in der Regel so gewählt, dass der Gesamtmittelwert der Diskriminanzwerte Null wird und somit auch der kritische Diskriminanzwert den Wert Null besitzt.

Anhand der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die vorhandene Problemstellung soll dann auch die Prüfung der Diskriminanzfunktion sowie der Merkmalsvariablen betrachtet werden. Dies betrifft auch die Diskussion darüber, wie die Klassifikation neuer Elemente anhand der vorliegenden Ergebnisse erfolgen sollte. Für die Anwendung der Diskriminanzanalyse besteht zum einen die Anforderung, dass der Umfang der Stichprobe mindestens doppelt so groß wie die Anzahl der Merkmalsvariablen sein sollte. Gleichzeitig sollte die Anzahl der Merkmalsvariablen größer sein als die Anzahl der Gruppen. Zum anderen sollten keine Elemente existieren, die gleichzeitig zu mehr als nur einer Gruppe gehören. Für die betrachtete Problemstellung kann der letzte Punkt ausgeschlossen werden, da eine Änderung entweder signifikant oder nicht signifikant ist. Gleichzeitig existieren fünf Merkmalsvariablen und zwei Gruppen, so dass die zweite Anforderung auch eingehalten wird. Die erste Anforderung macht deutlich, dass bei fünf Merkmalsvariablen somit mindestens eine Stichprobe mit zehn Änderungen vorliegen muss, für die sowohl die Gruppenzugehörigkeit als auch die Merkmalsvariablen bekannt sind. Darüber hinaus liegt der Diskriminanzanalyse die Annahme der Gleichheit der Gruppenstreuungen zugrunde. Die Gleichheit der Gruppenstreuung kann dabei nach Aussage von [BAC11] über die Betrachtung der logarithmierten Determinante der Kovarianzmatrix, die die unabhängigen Variablen enthält, sowie mit Hilfe des Box-M-Tests geschehen. Darüber hinaus sollten die unabhängigen Variablen über eine Multinormalverteilung verfügen. Die Prüfung dieser Anforderungen für die vorliegende Datenbasis erfolgt in Abschnitt 6.5.1.

6.2.2 Logistische Regressionsanalyse

Anhand der logistischen Regression lässt sich wie mit der Diskriminanzanalyse eine Analyse der Gruppenzugehörigkeit vornehmen. Dieses Verfahren ermittelt die Wahrscheinlichkeit der Gruppenzugehörigkeit einer oder mehrerer unabhängiger Variablen. Die abhängige Variable muss wie bei der Diskriminanzanalyse ein nominales Skalenniveau besitzen. Im Unterschied zur Diskriminanzanalyse müssen die unabhängigen Variablen hingegen nicht metrisch skaliert sein, sondern können auch über ein nominales Skalenniveau verfügen. Zudem ist mit der logistischen Regressionsanalyse auch eine Analyse der Wahrscheinlichkeit der Gruppenzugehörigkeit von mehreren unabhängigen Variablen möglich, die in gemischten Skalenniveaus, also in metrischer und gleichzeitig ordinaler Skalierung, vorhanden sind.

Die logistische Regression betrachtet laut [BAC11] im einfachsten Fall komplementäre Ereignisse, die sich in ihrer Wahrscheinlichkeit zu Eins addieren. Beispiele hierfür sind der Kauf oder der Nichtkauf eines untersuchten Produktes oder auch das Überleben

beziehungsweise der Tod aufgrund einer Erkrankung. Wie mit der Diskriminanzanalyse ist aber auch die Betrachtung einer abhängigen Variablen möglich, die über mehr als zwei mögliche Ausprägungen verfügt und somit multinomial ist. Die Wahrscheinlichkeit für beispielsweise das Überleben einer Erkrankung bestimmt die logistische Regression anhand eines Regressionsansatzes in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen. Für das gewählte Beispiel könnten hierfür die unabhängigen Variablen das Alter, das Geschlecht, das Gewicht und die Körpertemperatur sein. Die logistische Regressionsanalyse nutzt nun die sogenannte logistische Funktion dargestellt in Formel (7) dafür, eine Wahrscheinlichkeitsbeziehung zwischen dem Überleben und den unabhängigen Variablen herzustellen.

$$(7) \quad p = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

Damit erfolgt die Schätzung der Wahrscheinlichkeit der Gruppenzugehörigkeit über ein nicht-lineares Verfahren, da die Funktion der logistischen Funktion einen s-förmigen Verlauf aufweist. Über eine Schätzung werden nun die Parameter b_j der Formel (8) so bestimmt, dass die Wahrscheinlichkeit maximiert wird, die beobachteten Daten zu erhalten. Den beobachteten Daten entspricht in diesem Fall die korrekte Zuordnung der Elemente zu den beiden Gruppen „signifikant“ und „nicht signifikant“.

$$(8) \quad z_k = b_0 + b_1 * X_{1,k} + b_{2,k} * X_{2,k} + \dots + b_j * X_{j,k}$$

mit:

$X_{j,k}$ Wert der Variablen j des Elements k

b_j Koeffizient der Variablen j

b_0 konstanter Term

Die Formel (8) liefert nun für jedes Element einen Wert z_k , der die Zuordnung des Elements zu einer Gruppe unter Verwendung der logistischen Funktion ermöglicht. Ein z_k -Wert von Null entspricht dabei der Wahrscheinlichkeit von 0,5, dass das betrachtete Element der Referenzgruppe zugeordnet wird. Des Weiteren entsprechen positive z_k -Werte einer größeren Wahrscheinlichkeit als 0,5, dass das Element der Referenzgruppe zugeordnet wird. Im Gegensatz dazu bedeuten negative z_k -Werte, dass die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit des betrachteten Elements zur Referenzgruppe kleiner als 0,5 ist. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass für den Zwei-Gruppenfall die Wahrscheinlichkeit für die komplementäre Gruppe größer als 0,5 ist und das Element somit dieser Gruppe zugeordnet wird. Der Verlauf der Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von den z_k -Werten entspricht dabei der logistischen Funktion.

Der wesentliche Unterschied zur Diskriminanzanalyse ist neben der diesem Verfahren zugrunde liegenden s-förmigen Wahrscheinlichkeitsverteilung laut [BAC11] vor allem darin zu sehen, dass die logistische Regression an weniger strenge Prämissen geknüpft ist, was die Verteilung der unabhängigen Variablen sowie die Gleichheit der Varianz-Kovarianz-Matrizen in den betrachteten Gruppen betrifft. Obwohl das Verfahren selbst robuster ist, bestehen jedoch restriktivere Anforderungen an das Datenmaterial als bei der Diskriminanzanalyse. Die

Zahl der Elemente sollte für jede mögliche Ausprägung der abhängigen Variable nicht kleiner als 25 sein. Diese Anzahl ist zudem wiederum abhängig von der Anzahl der unabhängigen Variablen, so dass bei steigender Anzahl unabhängiger Variablen auch eine größere Anzahl an Elementen erforderlich wird. Somit sollte eine Zahl von 50 Elementen für die betrachtete Problemstellung in keinem Fall unterschritten werden. Gleichzeitig sollten die unabhängigen Variablen weitgehend frei von Multikollinearität sein und es sollte keine Autokorrelation vorliegen. Zudem muss der s-förmige Wahrscheinlichkeitsverlauf der logistischen Funktion auf seine Plausibilität für die betrachtete Problemstellung untersucht werden.

6.3 Diskussion des weiteren Vorgehens

Die Betrachtung der beiden relevanten Verfahren in Abschnitt 6.2 hat gezeigt, dass unabhängig von der Wahl des Verfahrens zunächst eine Datenbasis mit einer genügend großen Anzahl an Elementen vorhanden sein muss. Hierbei konnte gezeigt werden, dass für die Diskriminanzanalyse bereits eine Zahl von zehn Elementen ausreichend sein kann. Für die logistische Regression hingegen ist in jedem Fall eine Anzahl von mindestens 50 Elementen erforderlich. Zudem sollten unabhängig vom Verfahren für alle Elemente jeweils die Gruppenzugehörigkeit sowie auch die Merkmalsvariablen bekannt sein. Die Betrachtung der Verfahren in Abschnitt 4.2 hat gezeigt, dass einerseits das NeGSt-Verfahren über 14 Beispiele verfügt, für die jeweils die Signifikanz sowie die jeweiligen Kriterien anhand des erläuterten Punkteschemas beschrieben sind. Gleichzeitig hat hier nach Aussage von [BRA13] eine Validierung der Signifikanzergebnisse durch Experten stattgefunden. Darüber hinaus existieren in [PET09] und in [MIL11] insgesamt weitere zehn Beispiele, die anhand der Kriterien der CSM-Verordnung sowie mit dem Verfahren des „Safety Scannings“ bewertet worden sind. Gleichzeitig hat zusätzlich zu diesen Bewertungen eine Expertendiskussion über die Signifikanz der Beispiele stattgefunden. Desweiteren hat die Betrachtung des SBB-Verfahrens gezeigt, dass in [SHA10] elf Beispiele aus der Praxis von signifikanten Änderungen vorliegen. Für diese Beispiele liegt darüber hinaus eine Beschreibung der vorgenommenen Änderung vor. Zusätzlich existieren die fünf Beispiele der ERA, die bereits in Abschnitt 3.2.2 erläutert wurden. Für diese Beispiele muss nun zunächst eine Überprüfung erfolgen, ob sie unter die Definition von Änderungen fallen, die in Tabelle 23 dargestellt ist. Darüber hinaus muss eine Überprüfung der Bewertung der Kriterien stattfinden. Hierfür kann nun auf die anhand der Ergebnisse dieser Arbeit begründeten Kriterien aus Tabelle 24 und Tabelle 25 zurückgegriffen werden, die in diesem Zuge auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden können. Dabei muss allein für die Beispiele der SBB eine komplette Bewertung der Kriterien erfolgen. Für die Änderungen aus allen anderen Quellen liegt bereits eine Bewertung vor.

6.4 Diskussion und Bewertung der Änderungen

6.4.1 Beispiele von Änderungen des NeGSt-Berichts

Neben der Anwendung der Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix und deren Diskussion für Änderungen im Bereich der LST sind in [TÜV13] zudem 14 technische Änderungen aus dem Bereich LST enthalten. Zunächst kann festgehalten werden, dass alle 14 Änderungen der Definition für relevante Änderungen aus Tabelle 23 entsprechen, so dass keine Änderung

ausgeschlossen werden muss. Das Kriterium „Folge von Ausfällen“ wurde mit Hilfe des SIL-Werts des geänderten Systems bewertet. Darüber hinaus wurde das Kriterium „Innovation“ um eine mittlere Bewertungsmöglichkeit ergänzt, die hingegen bei der Bewertung der Beispiele nicht zur Anwendung gekommen ist, so dass die Bewertung für dieses Kriterium kompatibel mit der Tabelle 24 ist. Gleichzeitig ist auch die Bewertung des Kriteriums „Komplexität“ für die betrachteten Beispiele plausibel. Die Anwendung der Tabelle 24 auf die Beispiele würde auch für dieses Kriterium zu denselben Ergebnissen führen. Hinsichtlich der Überwachung wird für diese Beispiele im Bereich der LST festgehalten, dass eine gute Überwachbarkeit der Änderungen vor allem über technische Diagnoseeinrichtungen in der Regel gegeben ist. Eine Anwendung der Tabelle 24 auf diese Beispiele würde somit zum selben Ergebnis gelangen. Hinsichtlich der Umkehrbarkeit betrachtet das NeGSt-Verfahren, ob eine Rückfallebene existiert oder ein System geändert wird, dass für den Betrieb erforderlich ist und nicht ersetzt werden kann. Dies liegt nach Einschätzung von [TÜV13] ausschließlich für Beispiel 11 vor, bei der eine PZB eine neue Funktion erhält. Die Anwendung der Tabelle 24 würde für die betrachteten Beispiele auch hier zu denselben Ergebnissen gelangen. Die Einschätzung der Signifikanz liegt für die Beispiele zum einen anhand der Anwendung der Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix vor. Zum anderen sind die Signifikanzergebnisse durch Experten auf ihre Richtigkeit überprüft worden. Die Tabelle 27 zeigt die 14 Beispiele aus [TÜV13] mit ihrer Bewertung.

Beispielnummer	Herkunft	Bereich	Kurzbeschreibung	Signifikanzbewertung	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
1	NeGSt #1	Technik (LST)	Fehlerbehebung ESTW	nicht signifikant	4	0	0	0	0
2	NeGSt #2	Technik (LST)	geänderte Technik ESTW	signifikant	4	2	0	0	0
3	NeGSt #3	Technik (LST)	geänderte Funktion ESTW	nicht signifikant	4	0	1	0	0
4	NeGSt #4	Technik (LST)	geänderte Funktion ESTW mit RA-Änderung	signifikant	4	2	1	0	0
5	NeGSt #5	Technik (LST)	neue Funktion ESTW	signifikant	4	2	0	0	0
6	NeGSt #6	Technik (LST)	Fehlerbehebung Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	3	0	0	0	0
7	NeGSt #7	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	3	0	1	0	0
8	NeGSt #8	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangssicherungsanlage mit RA-Änderung	signifikant	3	2	1	0	0
9	NeGSt #9	Technik (LST)	neue Funktion Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	3	2	0	0	0
10	NeGSt #10	Technik (LST)	neue Funktion Rangiertechnik (keine Reisenden)	nicht signifikant	2	2	0	0	0
11	NeGSt #11	Technik (LST)	neue Funktion PZB	nicht signifikant	1	2	1	0	1
12	NeGSt #12	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangs-Fahrzeugschleife	nicht signifikant	3	2	0	0	0
13	NeGSt #13	Technik (LST)	geänderte Technik Signale (LED)	signifikant	4	2	0	0	0
14	NeGSt #14	Technik (LST)	Schnittstellenänderung im RaSTA-Protokoll	nicht signifikant	4	0	0	0	0

Tabelle 27: Übersicht über die bewerteten NeGSt-Beispiele

6.4.2 Beispiele von Änderungen der ERA-Dokumente

In Kapitel 3 konnte bereits gezeigt werden, dass die von der ERA veröffentlichten Dokumente fünf Beispiele enthalten, für die jeweils die Signifikanz der Änderungen anhand der Kriterien bestimmt worden ist. Auch für diese Änderungen kann zunächst festgestellt werden, dass sie der Definition für relevante Änderungen entsprechen.

In Abschnitt 3.2.2.6 ist darüber hinaus bereits eine Diskussion der Einschätzung der einzelnen Kriterien erfolgt. Hierbei konnte gezeigt werden, dass vor allem die Bewertung des Beispiels „Bahnübergang“ fragwürdig ist. Wendet man die Tabelle 25 für die Bewertung dieser betrieblichen Änderung an, erhält man für die Kriterien „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ eine abweichende Bewertung. Hinsichtlich des Kriteriums „Komplexität“ konnte bereits in Abschnitt 3.2.2.6 festgehalten werden, dass nicht nur die Änderung selbst auf ihre Komplexität überprüft werden sollte. Vielmehr sollte für dieses Beispiel auch untersucht werden, ob komplexe Prozesse und Verfahren erforderlich werden. In diesem Beispiel wird die Information des unterschiedlichen Klingeltons, der die Fahrtrichtung des Zuges auf

technischem Wege übermittelt, durch ein betriebliches Verfahren des Gegenprüfens ersetzt. Bei diesem Verfahren sind drei Personen beteiligt, so dass die Komplexität im betrieblichen Ablauf zunimmt. Die hierfür eingesetzte Technik ist nicht innovativ. Würde das beschriebene Verfahren des Gegenprüfens zum ersten Mal in dieser Form in der Organisation zum Einsatz kommen, würde die Innovation jedoch als hoch zu bewerten sein. Die ERA hat die Innovation als gering bewertet, so dass ohne eine weitere Erläuterung des Beispiels davon ausgegangen werden muss, dass diese Erfahrung vorliegt. Gleichzeitig muss die Umkehrbarkeit für dieses Beispiel in Frage gestellt werden, da zum einen keine unmittelbare Rückfallebene existiert und die Änderung auch nicht ohne erheblichen zeitlichen Aufwand umzukehren ist. Jedoch spricht die gute Überwachbarkeit der Änderung durch technische Einrichtungen, die die tatsächliche Fahrtrichtung des Zuges überwachen, dafür, dass die Bewertung dieses Beispiels als nicht signifikant durch die ERA nachvollziehbar ist.

Für das Beispiel, für das die Erhöhung der Verkehrsdichte betrachtet wird, muss festgehalten werden, dass bei der Anwendung der Tabelle 25 für die Bewertung dieser betrieblichen Änderung die Überwachung im Gegensatz zu der Bewertung der ERA als schlecht eingestuft werden muss. Falls die Erhöhung der Verkehrsdichte trotz der geringen Ausprägung aller weiteren Kriterien doch zu einem Problem für die Sicherheit führen sollte, können die unmittelbaren Folgen zwar beobachtet werden, jedoch ist ein Eingreifen zur Verhinderung eines Unfalls gegebenenfalls nicht mehr möglich. Für die weiteren Beispiele existieren keine Bewertungen der Kriterien, die der Bewertung der ERA widersprechen. Jedoch ist für das Beispiel „Outsourcing“ ergänzt worden, dass hierfür auch die Umkehrbarkeit als schlecht angesehen werden muss, da eine ausgegliederte Betriebssparte nicht ohne erheblichen zeitlichen und monetären Aufwand wieder eingegliedert oder neu aufgebaut werden kann. Die Tabelle 28 zeigt die bewerteten Beispiele der ERA sowie die fortlaufende Nummer der Beispiele in der ersten Spalte der Tabelle.

Beispielnummer	Herkunft	Bereich	Kurzbeschreibung	Signifikanz	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
15	ERA #1	Betrieb	Erhöhung der Verkehrsdichte	nicht signifikant	2	0	0	1	0
16	ERA #2	Technik	Bahnübergang - Umstellung Telefonanschluss analog auf digital	nicht signifikant	3	0	1	0	1
17	ERA #3	Technik	Einsatz GSM-R zur Informationsübertragung	signifikant	4	2	1	0	0
18	ERA #4	Betrieb	Ein TFZ ist allein für die Führung des Zuges zuständig	signifikant	4	2	1	0	0
19	ERA #5	Organisation	Outsourcing der Wartung- und Instandhaltung eines EILs	signifikant	2	2	1	1	1

Tabelle 28: Übersicht über die bewerteten ERA-Beispiele

6.4.3 Beispiele von Änderungen aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen

Neben diesen Änderungen der ERA und des NeGSt-Berichts existieren in [PET09] neun weitere Beispiele, die mit dem CSM-Verfahren zur Signifikanzbewertung sowie mit dem „Safety Scanning“ untersucht worden sind. Bezüglich der vorhandenen Beispiele ist zunächst festzuhalten, dass die Beispiele Nummer 2 „Wettbewerbsdruck“, Nummer 5 „Triebfahrzeugführer“ und Nummer 8 „Wechsel im Telefonsystem“ an die ERA-Beispiele Nummer 2, Nummer 4 und Nummer 5 angelehnt sind und daher nicht erneut aufgenommen werden sollten. Darüber hinaus erfüllt das Beispiel „Fahrplanwechsel“ nicht die Definition von relevanten Änderungen, da ein Wechsel des Fahrplans ausschließlich die Anwendung vorhandener und bewährter Prozesse und Verfahren erforderlich macht. In [PET09] wurde festgehalten, dass diese Änderung keine Sicherheitsrelevanz besitzt. Die vorliegende Bewertung der einzelnen Kriterien wurde dabei in die Kategorien der Kriterien der Tabelle 24 und der Tabelle 25 überführt. Falls erforderlich fand eine Untersuchung der Ausfallfolgen

anhand dieser Tabellen für die Änderungen vor. So wurden die Ausfallfolgen des Beispiels „Führungswechsels“ und des Beispiels „Teilprivatisierung“ anhand von Tabelle 25 als „unbedeutend“ bis „marginal“ bewertet. Vor allem bei diesen organisatorischen Änderungen besteht die Schwierigkeit darin, eine klare Gefährdung zu identifizieren, die sich daraufhin hinsichtlich ihrer Ausfallfolgen bewerten lässt.

Des Weiteren wurde für das Beispiel „Monitorwechsel“ durch die Anwendung der Tabelle 24 im Gegensatz zur Bewertung in [PET09] die Änderung als innovativ bewertet, da der Austausch von Röhrenmonitoren durch moderne TFT-Bildschirme den Einsatz neuer Technik für die Organisation darstellt, mit dem sie bisher keine Erfahrung besitzt. Die vorliegende Begründung in [PET09], dass diese Änderung nicht signifikant ist, besitzt aufgrund der schwachen Ausprägung der weiteren Kriterien weiterhin ihre Gültigkeit. Jedoch sollte, wie die Tabelle 24 es auch nahelegt, die Bewertung der Innovation unabhängig von den anderen Kriterien sowie auch unabhängig von der sofort vorhandenen subjektiven Einschätzung erfolgen, dass diese Änderung nicht signifikant ist. Diese Änderung wird zudem nur dann als innovativ bewertet, wenn die durchführende Organisation erstmals solche TFT-Monitore einsetzt. Nur dann besitzt die Organisation keine Erfahrung hinsichtlich dieser Monitore, ob gegebenenfalls besondere Aspekte im Gegensatz zu Röhrenmonitoren zu beachten sind. Solche Aspekte können die Sichtbarkeit und die Farbstellung aus seitlichen Positionen oder das Verhalten solcher Monitore im Dauerbetrieb sein, was zum Beispiel das Einbrennen von Standbildern betrifft.

Beispielnummer	Herkunft	Bereich	Kurzbeschreibung	Signifikanz	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
20	Studienarbeit #1	Organisation	Führungswechsel	nicht signifikant	2	0	0	0	0
B*	Studienarbeit #2	Organisation	Wettbewerbsdruck, B*						
21	Studienarbeit #3	Organisation	Teilprivatisierung	nicht signifikant	2	0	1	0	1
A*	Studienarbeit #4	Betrieb	Fahrplanwechsel, A*						
B*	Studienarbeit #5	Betrieb	Triebfahrzeugführer, B*						
22	Studienarbeit #6	Betrieb	Signalversetzung	nicht signifikant	4	0	0	0	0
23	Studienarbeit #7	Technik	Komponententausch	nicht signifikant	4	0	0	0	0
B*	Studienarbeit #8	Technik	Wechsel im Telefonsystem, B*						
24	Studienarbeit #9	Technik	Monitorwechsel	nicht signifikant	2	2	0	0	0
25	ESREL-Paper	Technik	Zusammenfassung zweier Stellwerksbereiche	signifikant	4	0	1	0	1
Erläuterung A*: Änderung erfüllt nicht die Definition an relevante Änderungen. B*: Änderung ist bereits bei den Beispielen der ERA enthalten.									

Tabelle 29: Übersicht über die Beispiele aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen

Darüber hinaus enthält [MIL11] ein Beispiel einer technischen Änderung, das auch wiederum anhand der Kriterien des CSM-Verfahrens sowie anhand des „Safety Scannings“ bewertet worden ist. Da dieses Beispiel aus Sicht des EIUs sowie aus Sicht der Industrie betrachtet wurde, existieren zwei unterschiedliche Sichtweisen auf diese Änderung, die sich in einzelnen Aspekten wie der Bewertung der Komplexität der Änderung leicht unterscheiden. Von den beiden vorhandenen Sichtweisen soll die Änderung aus Sicht der Industrie in die Tabelle 29 aufgenommen werden, die die bewerteten Beispiele dieser wissenschaftlichen Arbeiten zusammenfassend darstellt.

6.4.4 Beispiele von Änderungen der SBB

Neben der Beschreibung des SBB-Verfahrens sind in [SHA10] auch elf Beispiele von signifikanten Änderungen enthalten, die aus unterschiedlichen Bereichen der SBB stammen und nach deren Einschätzung als eindeutig signifikant eingestuft wurden. Für diese elf Beispiele liegt neben der Zuordnung des Bereichs, der durch die Änderung betroffen ist, auch

eine Beschreibung des Beispiels sowie die Diskussion der Sicherheitsrelevanz sowie der Signifikanz der Änderung vor. Gleichzeitig wird die ungefähre Anzahl an vergleichbaren Änderungen angegeben, die im Jahr für den Bereich der SBB zu erwarten ist. Eine Bewertung der Kriterien ist hingegen nicht enthalten. Diese elf Beispiele wurden zunächst darauf untersucht, ob sie die Definition einer relevanten Änderung nach Tabelle 23 erfüllen.

Es ist festzuhalten, dass die Beispiele Nummer 2 und 6 diese Definition nicht erfüllen. Die Überprüfung der Fähigkeiten eines neuen Eisenbahnverkehrsunternehmens, damit dieses die vorhandene Infrastruktur nutzen kann, stellt in der Regel ausschließlich die Anwendung von vorhandenen Prozessen und Vorschriften dar. Hierdurch müssen weder neue Prozesse und Verfahren geschaffen noch bestehende Prozesse und Verfahren geändert werden. Das Beispiel Nummer 6 betrifft Baumaßnahmen in unmittelbarer Nähe zu einer Hochgeschwindigkeitsstrecke. Auch dieser Fall stellt keine relevante Änderung dar, da hierfür wiederum ausschließlich vorhandene Prozesse und Verfahren angewendet werden und darüber hinaus Vorschriften existieren. Das Beispiel Nummer 10 beschreibt eine Änderung, bei der die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf einem Streckenabschnitt um 10 km/h erhöht wird und dazu gleichzeitig Veränderungen an der Sicherungstechnik vorgenommen werden. Für sich alleine genommen wäre die Erhöhung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 10 km/h dann keine relevante Änderung, falls hierfür bestehende Prozesse und Verfahren existieren und diese Maßnahme bereits mehrfach durchgeführt wurde. In Kombination mit den Änderungen an der Sicherungstechnik fällt diese Änderung jedoch unter die Definition relevanter Änderungen, falls diese technische Änderung nicht anhand bestehender Prozesse und Verfahren durchgeführt wird oder neue Technik zum Einsatz kommt. Eine solche Änderung wird nach Aussage von [SHA10] in ähnlicher Form circa fünfmal pro Jahr im Bereich der SBB durchgeführt. Somit ist davon auszugehen, dass dies anhand bestehender Prozesse und Verfahren geschieht und sowohl mit den Änderungen an der Sicherungstechnik als auch mit der Erhöhung der zulässigen Streckengeschwindigkeit ausreichend Erfahrung besteht. Daraus wird deutlich, dass diese Änderung nicht unter die Definition relevanter Änderungen fällt. Die acht verbliebenen Beispiele wurden anhand der Kriterien aus Tabelle 24 und Tabelle 25 bewertet. Da diese Beispiele im Gegensatz zu den Beispielen von Änderungen aus den anderen Quellen bis auf die Signifikanz vollständig bewertet werden mussten, ist diese Bewertung ausführlich in Anhang 8.3.2 beschrieben.

6.4.5 Diskussion der vorliegenden Daten

Durch die Untersuchungen in den vorangegangenen Abschnitten liegen nun insgesamt die Daten von 33 Änderungen vor, für die jeweils die Gruppenzugehörigkeit sowie die Merkmalsvariablen bekannt sind. Die Gruppe „signifikant“ verfügt dabei über 17 Elemente und die Gruppe „nicht signifikant“ über 16 Elemente, so dass beide Gruppen nahezu gleich groß sind. Zudem sind alle Merkmalsvariablen in den vorhandenen Elementen vertreten. Darüber hinaus kann festgehalten werden, dass die Merkmalsvariablen „Innovation“, „Komplexität“, „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ mindestens einmal mit jeder ihrer möglichen Ausprägungen in einer der beiden Gruppen vertreten sind. Die Merkmalsvariable „Folge von Ausfällen“ ist ausschließlich mit dem Wert von 1,0 nicht in der Gruppe „signifikant“ vertreten, alle weiteren möglichen Ausprägungen sind in beiden Gruppen vertreten. Von den 33 Beispielen sind jeweils vier den Bereichen Betrieb und Organisation

zuzuordnen. Mit 25 Beispielen ist der Großteil der Änderungen dem Bereich „Technik“ zuzuordnen. Wiederum ein Großteil dieser 25 technischen Änderungen stammt aus dem Bereich LST. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass mehrere Elemente existieren, die über dieselbe Gruppenzugehörigkeit und eine identische Ausprägung ihrer Merkmalsvariablen verfügen. Dies betrifft unter anderem die Beispiele Nummer 1 und Nummer 14 sowie die Beispiele Nummer 17 und Nummer 18.

Die Anzahl von 33 Elementen macht zudem deutlich, dass für die vorliegende Problemstellung die Diskriminanzanalyse zur weiteren Untersuchung herangezogen werden sollte. Wie in Abschnitt 6.2.2 beschrieben, sollten für die logistische Regressionsanalyse mindestens 25 Elemente je Gruppe vorhanden sein. Die vorhandenen Daten erfüllen diese Anforderung nicht. Darüber hinaus existieren Elemente, die zwar zu unterschiedlichen Änderungen gehören, aber in ihrer Gruppenzugehörigkeit und den Werten ihrer Merkmalsvariablen identisch sind. Somit kann festgehalten werden, dass die Anforderungen der logistischen Regressionsanalyse an die vorhandene Datenbasis nicht erfüllt sind.

6.5 Anwendung der Diskriminanzanalyse

Für die nun vorliegende Datenbasis von 33 Änderungen soll im Folgenden eine Diskriminanzanalyse anhand des Programms IBM SPSS Statistics mit der Versionsnummer 21 durchgeführt werden. Die zusammenfassende Tabelle mit allen 33 Elementen ist in Tabelle 58 in Anhang 8.3.1 enthalten. Zum einen soll die Diskriminanzfunktion ermittelt werden, die die vorhandenen Elemente anhand ihrer Merkmalsvariablen optimal in die Gruppen „signifikant“ und „nicht signifikant“ trennt. Dabei soll die Güte dieser Diskriminanzfunktion näher betrachtet werden. Zum anderen soll eine Untersuchung der Merkmalsvariablen und ihrer Wichtigkeit in der Diskriminanzfunktion erfolgen. Dies betrifft einerseits ihren Einfluss auf die Trennfähigkeit der Diskriminanzfunktion. Unmittelbar damit verbunden ist andererseits die Betrachtung, ob gegebenenfalls Merkmalsvariablen existieren, die nicht signifikant zur Trennfähigkeit der Diskriminanzfunktion beitragen und daher aus der Funktion ausgeschlossen werden können. Darüber hinaus soll untersucht werden, in welcher Weise anhand der vorliegenden Ergebnisse die Klassifikation neuer Elemente und somit die Zuordnung von Änderungen zur Gruppe „signifikant“ oder zur Gruppe „nicht signifikant“ vorgenommen werden kann. Dieser Aspekt betrifft somit das zentrale Ziel dieser Arbeit. In Kapitel 5 wurde bereits dargestellt, wie eine Betrachtung von Änderungen zu erfolgen hat und anhand welcher Kriterien eine sicherheitsrelevante Änderung bewertet werden sollte. Als Ergebnis der Diskriminanzanalyse soll nun abschließend dargestellt werden, wie eine Änderung anhand ihrer bewerteten Kriterien als signifikant oder nicht signifikant klassifiziert werden kann. Zunächst wird aber in Abschnitt 6.5.1 untersucht, ob die Randbedingungen erfüllt sind, die bei der Anwendung der Diskriminanzanalyse zu beachten sind.

6.5.1 Überprüfung der Randbedingungen

Hinsichtlich des Datenumfangs konnte bereits festgehalten werden, dass mit 33 vorhandenen Elementen die Anforderung erfüllt ist, dass die Anzahl der Elemente mindestens doppelt so groß sein sollte wie die Anzahl der Merkmalsvariablen. Darüber hinaus ist für die Diskriminanzanalyse zu beachten, dass die Gruppen über annähernd gleiche Streuungen verfügen sollten. Hierzu ist eine Untersuchung der Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen

erforderlich, die die unabhängigen Variablen enthalten. Die Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen sind in Tabelle 60 in Anhang 8.3.3 dargestellt. Einen Hinweis auf mögliche Unterschiede zwischen den zwei Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen können die logarithmierten Determinanten dieser beiden Matrizen geben, die in Tabelle 30 dargestellt sind. Die logarithmierten Determinanten sprechen aufgrund der vergleichbaren Werte nicht gegen die Annahme gleicher Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen.

Log-Determinanten		
Gruppe	Rang	Log-Determinante
nicht signifikant	5	-7,983
signifikant	5	-8,152
Gemeinsam innerhalb der Gruppen	5	-7,346

Tabelle 30: Log-Determinanten zur Betrachtung der Kovarianz-Matrizen

Darüber hinaus kann innerhalb von SPSS Statistics ein Box-M-Test der Null-Hypothese auf Gleichheit der Kovarianz-Matrizen durchgeführt werden. Bei einem nicht signifikanten Test (Signifikanz $p > 0,05$) kann die Hypothese auf unterschiedliche Kovarianz-Matrizen verworfen werden. Ein signifikanter Test (für $p < 0,05$) liegt laut [SCH10] dann vor, wenn statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen vorliegen. Die Tabelle 31 stellt diese Ergebnisse des Box-M-Tests dar. Es ist zu erkennen, dass die Signifikanz einen Wert besitzt, der deutlich nicht signifikant ist ($p = 0,238 > 0,05$). Damit kann anhand des Box-M-Tests von einer Gleichheit der Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen ausgegangen werden. Somit sind die Anforderungen an die Anwendung der Diskriminanzanalyse für die vorhandene Datenbasis erfüllt.

Prüfung der Gleichheit der Kovarianzmatrizen		
Box-M		22,461
F	Näherungswert	1,234
	df1	15,000
	df2	3835,064
	Signifikanz	0,238

Tabelle 31: Box-M-Test der Prüfung der Gleichheit der Kovarianz-Matrizen

Gleichzeitig ist auch die Multikollinearität zwischen den unabhängigen Variablen auszuschließen. Hierzu sollte die Korrelation zwischen den unabhängigen Variablen untersucht werden. Diese ist in Tabelle 32 dargestellt. Würden korrelierte Merkmalsvariablen vorliegen, wäre der Einfluss einer Variablen auf die Diskriminanzfunktion möglicherweise bereits durch den Diskriminanzkoeffizienten einer anderen Variablen berücksichtigt. Bei perfekter Korrelation zweier Variablen ist es unmöglich, für beide Variablen den Diskriminanzkoeffizienten zu bestimmen. Vielmehr müsste in diesem Fall eine der beiden Variablen aus der Diskriminanzanalyse ausgeschlossen werden (vgl. [ECK02] S.319).

Korrelation zwischen den unabhängigen Variablen					
unabhängige Variable	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
Ausfallfolgen	1,000	-0,380	-0,113	-0,401	-0,504
Innovation	-0,380	1,000	-0,119	-0,125	-0,216
Komplexität	-0,113	-0,119	1,000	-0,303	0,420
Überwachung	-0,401	-0,125	-0,303	1,000	0,186
Umkehrbarkeit	-0,504	-0,216	0,420	0,186	1,000

Tabelle 32: Untersuchung der unabhängigen Variablen auf Multikollinearität

Die Korrelationsmatrix macht deutlich, dass die höchste Korrelation zwischen den Merkmalsvariablen „Ausfallfolgen“ und „Umkehrbarkeit“ vorliegt. Der Aspekt der Korrelation zwischen den unabhängigen Variablen wird in Abschnitt 6.5.4 bei der Untersuchung der diskriminatorischen Bedeutung der einzelnen Merkmalsvariablen ausführlich diskutiert. Da die Variable „Folge von Ausfällen“ über vier und die weiteren unabhängigen Variablen nur über zwei mögliche Werte verfügen, kann keine Multinormalverteilung der unabhängigen Variablen angenommen werden. Die Normalverteilungsannahme ist laut [FRI09] für die Herleitung der linearen Diskriminanzanalyse nach Fisher anhand des Maximum-Likelihood-Ansatzes erforderlich. Jedoch lässt sich die lineare Diskriminanzanalyse auch über Projektionen herleiten, für die keine Verteilungsannahmen erforderlich sind. Aus diesem Grund kann auch für nicht multinormalverteilte unabhängige Variablen davon ausgegangen werden, dass die lineare Diskriminanzanalyse aussagekräftige Ergebnisse liefert. Vor diesem Hintergrund findet eine ausführliche statistische Überprüfung der Güte der ermittelten Diskriminanzfunktion sowie der Güte der dort enthaltenen Merkmalsvariablen in Abschnitt 6.5.3 und Abschnitt 6.5.4 statt.

6.5.2 Erläuterung der Diskriminanzanalyse der vorhandenen Datenbasis

Für die vorliegenden 33 Elemente erfolgt nun die Diskriminanzanalyse mit Hilfe des Programms IBM SPSS Statistics, wobei die Diskriminanzanalyse auch mit dem freien Programm R erfolgen kann. Die Beschreibung der Diskriminanzanalyse anhand dieses Programms ist in Anhang 8.4 erläutert, so dass die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse durch jeden Leser dieser Arbeit selbst nachvollzogen werden können. Gleichzeitig kann auf diese Weise die Analyse einer Datenbasis vorgenommen werden, bei der gegebenenfalls Variationen an den bestehenden 33 Elementen geprüft oder zusätzliche Elemente mit- einbezogen werden sollen. Für die Analyse der Datenbasis wird zunächst die Tabelle mit allen 33 Änderungen aus Anhang 8.3.1 in das Programm eingelesen. Daraufhin erfolgt die Diskriminanzanalyse, die sich in SPSS Statistics unter der Funktion „Analysieren“ und in diesem Menü unter „Klassifizieren“ finden lässt. Für die Untersuchung werden zunächst alle unabhängigen Variablen gemeinsam aufgenommen, bevor gegebenenfalls der Ausschluss einer oder mehrerer Variablen betrachtet werden soll. Die Ergebnisse dieser Diskriminanzanalyse werden in den folgenden Abschnitten diskutiert.

6.5.3 Betrachtung der Diskriminanzfunktion

Im Programm SPSS Statistics lassen sich zum einen die kanonischen Koeffizienten der Diskriminanzfunktion ausgeben. Gleichzeitig werden auch die Zentroiden der beiden

Gruppen angezeigt. Die Tabelle 33 stellt sowohl die kanonischen Koeffizienten der Diskriminanzfunktion als auch die Zentroiden der beiden Gruppen „signifikant“ und „nicht signifikant“ dar.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,784
Innovation	1,368
Komplexität	0,898
Überwachung	2,456
Umkehrbarkeit	1,624
(Konstant)	-8,593

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,870
signifikant	1,760

Tabelle 33: Kanonische Diskriminanzkoeffizienten sowie die Gruppen-Zentroiden

Die Koeffizienten b_j der unabhängigen Variablen sind dabei in der linken Tabelle dargestellt. Das konstante Glied b_0 befindet sich hier in der letzten Zeile. Wie aus der rechten Tabelle zu erkennen ist, besitzt der Zentroid für die Gruppe „nicht signifikant“ ein negatives Vorzeichen und der Zentroid für die Gruppe „signifikant“ ein positives Vorzeichen. Damit deutet ein positiver Diskriminanzwert auf eine signifikante Änderung und ein negativer Diskriminanzwert auf eine nicht signifikante Änderung hin. Auf die verschiedenen Konzepte zur Klassifizierung neuer Elemente wird in Abschnitt 6.5.6 eingegangen. Das konstante Glied b_0 ist, wie in Abschnitt 6.2.1 für den Zwei-Gruppenfall beschrieben, so gewählt, dass der kritische Diskriminanzwert Y^* den Wert Null besitzt. Die Betrachtung der Gruppen-Zentroiden macht darüber hinaus auch deutlich, dass der kritische Diskriminanzwert Y^* gleich Null ist. Berücksichtigt man die Größe der beiden Gruppen „signifikant“ und „nicht signifikant“, ergibt das gewichtete arithmetische Mittel in Formel (9) den Wert Null (vgl. [ECK02] S.345).

$$(9) \quad \frac{I_{sign.} \cdot \bar{Y}_{sign.} + I_{nicht\ sign.} \cdot \bar{Y}_{nicht\ sign.}}{I_{sign.} + I_{nicht\ sign.}} = \frac{17 \cdot 1,76 + 16 \cdot (-1,87)}{33} = 0$$

mit:

\bar{Y}_g = Zentroid der Gruppe g

I_g = Größe der Gruppe g

Mit den Koeffizienten aus Tabelle 33 ist die kanonische Diskriminanzfunktion bestimmt, anhand derer sich für jedes der 33 Elemente ein Diskriminanzwert berechnen lässt. Die Diskriminanzfunktion besitzt somit die in Formel (10) dargestellte Form.

$$(10) \quad Y_i = -8,593 + 1,784 \cdot X_{Ausf.,i} + 1,368 \cdot X_{Inno.,i} + 0,898 \cdot X_{Kompl.,i} + 2,456 \cdot X_{Überw.,i} + 1,624 \cdot X_{Umk.,i}$$

mit:

$X_{j,i}$ = Merkmalsvariable j des Elements i

Nach der Ermittlung der Diskriminanzfunktion stellt sich unmittelbar die Frage, wie diese hinsichtlich ihrer Trennkraft zwischen den Gruppen eingeschätzt werden kann. Hierfür stehen

im Allgemeinen zwei unterschiedliche Ansätze zur Verfügung. Zum einen lässt sich für die vorhandene Datenbasis untersuchen, wie viele der vorhandenen Elemente anhand der vorliegenden Diskriminanzfunktion richtig klassifiziert werden. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Güte der Diskriminanzfunktion auf diese Weise mit derselben Stichprobe untersucht wird, auf deren Grundlage die Diskriminanzfunktion ermittelt wurde. Dieser Effekt nimmt jedoch mit zunehmender Größe der Stichprobe ab. Bei einer Anzahl von 33 Elementen sollten somit zumindest die weiteren Möglichkeiten zur Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion mit in die Betrachtung einfließen. Eine Untersuchung der Klassifikation der vorhandenen Elemente erfolgt darüber hinaus in Tabelle 41. Diese Untersuchung zeigt, dass anhand der vorliegenden Diskriminanzfunktion alle 33 vorliegenden Elemente korrekt klassifiziert werden. Neben diesem Ansatz der Klassifikation der Elemente lassen sich Aussagen hinsichtlich der Güte der Diskriminanzfunktion über die Untersuchung des Verhältnisses der erklärten Streuungen zur nicht erklärten Streuung beziehungsweise zur Gesamtstreuung treffen. Die erklärte Streuung stellt hierbei die Streuung zwischen den Gruppen und die nicht erklärte Streuung die Streuung innerhalb der Gruppen dar. Die Gesamtstreuung ist die Addition beider Streuungen. Das Verhältnis der Streuung zwischen den Gruppen und der Streuung innerhalb der Gruppen stellt darüber hinaus das Diskriminanzkriterium Γ dar, das bei der Schätzung der Diskriminanzfunktion maximiert wird. Dieses Diskriminanzkriterium ist in Formel (11) beschrieben. Eine Diskriminanzfunktion trennt in dem Fall besonders gut, wenn die Streuung zwischen den Gruppen besonders groß und die Streuung innerhalb der Gruppen besonders klein ist (vgl. [BAC11] S.194ff.).

$$(11) \quad \Gamma = \frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{nicht erklärte Streuung}} = \frac{\sum_{g=1}^G I_g (\bar{Y}_g - \bar{Y})^2}{\sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{I_g} (Y_{gi} - \bar{Y}_g)^2}$$

mit:

\bar{Y} = Gesamtmittel der Diskriminanzwerte

Neben der Prüfung des Diskriminanzkriteriums sowie der Betrachtung des kanonischen Korrelationskoeffizienten ist die Bestimmung der Güte der Diskriminanzfunktion durch das Kriterium Wilks' Lambda von allen Kriterien am gebräuchlichsten. Das Kriterium Wilks' Lambda berücksichtigt dabei das Verhältnis zwischen der nicht erklärten Streuung und der Gesamtstreuung. Das Wilks' Lambda lässt sich in eine probabilistische Variable χ^2 transformieren, die eine statistische Signifikanzprüfung der Diskriminanzfunktion ermöglicht. Für die vorhandene Diskriminanzfunktion ergeben sich die Werte aus Tabelle 34.

Statistische Signifikanzprüfung der Diskriminanzfunktion			
Wilks-Lambda	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
0,222	42,890	5	3,889 * 10 ^{^(-8)}

Tabelle 34: Statistische Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion

Anhand des Wertes für χ^2 sowie die vorhandene Anzahl an Freiheitsgraden, die der Anzahl der unabhängigen Variablen entspricht, lässt sich ein Signifikanzwert α ermitteln. Dieser liegt nahe Null, so dass die hiermit betrachtete Nullhypothese, dass die beiden Gruppen sich nicht unterscheiden, laut [BAC11] verworfen werden kann. Die vorliegende Diskriminanzfunktion aus Formel (10) ist somit als hoch signifikant anzusehen. Die statistische Untersuchung der

Diskriminanzfunktion konnte gleichzeitig zeigen, dass die Diskriminanzanalyse trotz der nicht multinormalverteilten unabhängigen Variablen zu aussagekräftigen Ergebnissen gelangt.

6.5.4 Betrachtung der Merkmalsvariablen

Im vorherigen Abschnitt konnte gezeigt werden, welche Form die Diskriminanzfunktion für die betrachtete Datenbasis besitzt und dass diese Diskriminanzfunktion über eine hohe Trennkraft verfügt. Hinsichtlich der einzelnen Merkmalsvariablen sind hingegen noch keine Aussagen getroffen worden. Die Betrachtung der Diskriminanzfunktion aus Formel (10) mit den darin enthaltenen Diskriminanzkoeffizienten aus Tabelle 33 legt nahe, dass vor allem die Merkmalsvariable „Überwachung“ eine besonders große und die Merkmalsvariable „Komplexität“ eine besonders kleine diskriminatorische Bedeutung besitzt. Bei diesen unstandardisierten Diskriminanzkoeffizienten sind jedoch noch nicht die Effekte eventuell vorhandener unterschiedlicher Skalierung innerhalb der einzelnen Merkmalsvariablen berücksichtigt. So besitzt die Merkmalsvariable „Folge von Ausfällen“ eine Skala mit einem Maximalwert von 4 und die Merkmalsvariable „Überwachung“ einen Maximalwert von 1. Die Standardisierung der Diskriminanzkoeffizienten erfolgt über die Multiplikation der unstandardisierten Diskriminanzkoeffizienten mit der gepoolten Standardabweichung der Merkmalsvariablen. Diese Berechnung ist in Anhang 8.3.4 beschrieben.

Standardisierte Diskriminanzkoeffizienten		
Merkmalsvariable	Koeffizient	Bedeutungs-rangfolge
Ausfallfolgen	1,478	1
Innovation	1,194	2
Komplexität	0,443	5
Überwachung	0,882	3
Umkehrbarkeit	0,684	4

Tabelle 35: Standardisierte Koeffizienten der Diskriminanzfunktion

Anhand der standardisierten Diskriminanzkoeffizienten aus Tabelle 35 lässt sich erkennen, dass die Merkmalsvariable „Ausfallfolgen“ die größte und die Merkmalsvariablen „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ die geringste diskriminatorische Bedeutung besitzen. Hierbei ist jedoch noch nicht die Korrelation zwischen den einzelnen Variablen berücksichtigt. So konnte in Abschnitt 6.5.1 dargestellt werden, dass die Korrelation zwischen den Variablen dafür sorgen kann, dass die jeweilige diskriminatorische Bedeutung einer Variablen überschätzt wird und somit der standardisierte Diskriminanzkoeffizient zu hoch ist. Um diesen Effekt der Multikollinearität auf die standardisierten Diskriminanzkoeffizienten zu berücksichtigen, werden die Kovarianzen zwischen der Gruppenvariablen und den unabhängigen Variablen sowie die Varianzen der unabhängigen Variablen getrennt für die vorhandenen Gruppen („signifikant“/ „nicht signifikant“) berechnet und hieraus die sogenannte „gepoolte“ Korrelationen zwischen der Gruppenvariablen und den unabhängigen Variablen bestimmt.

Strukturmatrix der unabhängigen Variablen		
Merkmalsvariable	Strukturkoeffizient	Bedeutungs- rangfolge
Ausfallfolgen	0,276	2
Innovation	0,322	1
Komplexität	0,154	3
Überwachung	0,133	4
Umkehrbarkeit	0,031	5

Tabelle 36: Übersicht über die Strukturkoeffizienten

Mit Hilfe dieser „gepoolten“ Korrelationen sowie den standardisierten Diskriminanzkoeffizienten lassen sich daraufhin die Strukturkoeffizienten der einzelnen unabhängigen Variablen bestimmen. Diese Strukturkoeffizienten berücksichtigen nun zusätzlich den Einfluss der Multikollinearität und sind für die vorliegende Datenbasis in Tabelle 36 dargestellt. Das mathematische Vorgehen ist ausführlich in [ECK02] beschrieben.

Die hier berücksichtigte Korrelation zwischen den unabhängigen Variablen macht deutlich, dass die standardisierten Diskriminanzkoeffizienten vor allem die diskriminatorische Bedeutung der Variablen „Umkehrbarkeit“ überschätzen. Zudem wird deutlich, dass bei Berücksichtigung der Multikollinearität die Variable „Innovation“ statt der Variablen „Ausfallfolgen“ die höchste diskriminatorische Bedeutung besitzt. Eine Begründung hierfür liegt unter anderem in der hohen Korrelation zwischen der Variablen „Ausfallfolgen“ und „Umkehrbarkeit“, die bereits in Abschnitt 6.5.1 thematisiert worden ist. Damit konnte anhand der Diskriminanzanalyse die bisher nicht begründete Vermutung bestätigt werden, dass das Kriterium „Umkehrbarkeit“ weniger Relevanz für die Signifikanzbewertung als die weiteren Kriterien besitzt. Dies wirft unmittelbar die Fragestellung auf, ob die unabhängige Variable Umkehrbarkeit somit aus der Diskriminanzfunktion entfernt werden sollte. Hierzu ist allein die Betrachtung der standardisierten Diskriminanzkoeffizienten sowie der Strukturkoeffizienten nicht ausreichend. Vielmehr muss im Weiteren untersucht werden, welche Trennkraft eine Diskriminanzfunktion ohne die unabhängige Variable „Umkehrbarkeit“ im Gegensatz zur Diskriminanzfunktion aus (10) besitzt, die über alle Merkmalsvariablen verfügt. Gleichzeitig soll eine solche Betrachtung auch für die Merkmalsvariable „Komplexität“ durchgeführt werden, die ohne Berücksichtigung der Multikollinearität aufgrund der standardisierten Diskriminanzkoeffizienten über die geringste diskriminatorische Bedeutung verfügt.

6.5.5 Betrachtung der Merkmalsvariablen „Umkehrbarkeit“ und „Komplexität“

Für die Untersuchung der diskriminatorischen Bedeutung der Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ soll nun im Folgenden die Diskriminanzfunktion bestimmt werden, aus der diese Merkmalsvariable entfernt worden ist. In Tabelle 37 sind sowohl die Koeffizienten dieser Diskriminanzfunktion als auch ihre Gruppen-Zentroiden beschrieben.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,403
Innovation	1,158
Komplexität	1,452
Überwachung	2,672
(Konstant)	-7,032

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,654
signifikant	1,557

Tabelle 37: Koeffizienten der Diskriminanzfunktion ohne „Umkehrbarkeit“

In Abschnitt 6.5.3 wurde bereits erläutert, dass sich die Güte der Diskriminanzfunktion anhand der Betrachtung des Kriteriums des Wilks' Lambda sowie der daraus transformierten probabilistischen Variablen χ^2 ableiten lässt. In Tabelle 38 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt. Dies lässt erkennen, dass sich der Signifikanzwert α ungefähr um den Faktor 3 zum Signifikanzwert der ursprünglichen Diskriminanzfunktion erhöht hat. Aufgrund des Ausschlusses der Variablen „Umkehrbarkeit“ verfügt die Diskriminanzfunktion nun nur noch über vier Freiheitsgrade. Aus statistischer Sicht ist diese Diskriminanzfunktion somit nicht als signifikanter als die ursprüngliche Diskriminanzfunktion anzusehen.

Statistische Signifikanzprüfung der Diskriminanzfunktion			
Wilks-Lambda	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
0,267	38,268	4	9,866 * 10 ⁽⁻⁸⁾

Tabelle 38: Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion ohne „Umkehrbarkeit“

Jedoch sollte zusätzlich eine Untersuchung des Anteils der korrekt klassifizierten Elemente erfolgen. Hierbei ist anhand der Tabelle 62 in Anhang 8.3.6 festzustellen, dass mit dem Beispiel Nummer 3 ein Element nicht korrekt klassifiziert wird. Somit sollte die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ nicht aus der Diskriminanzfunktion entfernt werden, da sie zur Trennkraft der Diskriminanzfunktion beiträgt.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,824
Innovation	1,385
Überwachung	2,028
Umkehrbarkeit	2,187
(Konstant)	-8,392

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,745
signifikant	1,642

Tabelle 39: Koeffizienten der Diskriminanzfunktion ohne „Komplexität“

Diese Erkenntnis bestätigt darüber hinaus die qualitative Betrachtung hinsichtlich der Bedeutung des Kriteriums „Umkehrbarkeit“, die in Abschnitt 5.3.6 erfolgt ist. Gleichzeitig sorgt der Wegfall des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ dafür, dass sich das Beispiel Nummer 3 nicht mehr von den Beispielen Nummer 25 und Nummer 26 unterscheidet, obwohl für diese

eine unterschiedliche Gruppenzuordnung vorliegt. Somit trägt das Kriterium „Umkehrbarkeit“ zu dieser unterschiedlichen Gruppenzuordnung bei. Wird nun dieselbe Untersuchung für die Merkmalsvariable „Komplexität“ durchgeführt, ergibt sich die Diskriminanzfunktion, die über die Koeffizienten sowie die Gruppen-Zentroiden aus Tabelle 39 verfügt. Im Weiteren soll wiederum eine statistische Prüfung der Güte der ermittelten Diskriminanzfunktion erfolgen. Der Vergleich der Werte aus Tabelle 40 mit den Werten aus Tabelle 34 macht deutlich, dass sich der χ^2 -Wert für die Diskriminanzfunktion ohne die Merkmalsvariable „Komplexität“ nur unwesentlich vom χ^2 -Wert aus Tabelle 34 unterscheidet. Aufgrund des Wegfalls der Merkmalsvariablen „Komplexität“ verfügt die neue Diskriminanzfunktion aber nur über vier Freiheitsgrade, wodurch sich ein noch etwas kleinerer Signifikanzwert α ergibt. Die vorliegende Diskriminanzfunktion ohne das Kriterium „Komplexität“ ist somit aus statistischer Sicht als noch signifikanter als die ursprüngliche Diskriminanzfunktion aus Formel (10) anzusehen.

Statistische Signifikanzprüfung der Diskriminanzfunktion			
Wilks-Lambda	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
0,247	40,557	4	3,320 * 10 ⁽⁻⁸⁾

Tabelle 40: Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion ohne „Komplexität“

Jedoch macht eine Begutachtung der Klassifizierung der 33 Elemente anhand dieser neuen Diskriminanzfunktion in Anhang 8.3.5 deutlich, dass das Beispiel Nummer 8 durch den Wegfall der Merkmalsvariablen nicht mehr korrekt klassifiziert wird. Somit kann festgehalten werden, dass auch die Merkmalsvariable „Komplexität“ zur Trennkraft der Diskriminanzfunktion beiträgt und nicht aus dieser entfernt werden sollte. Dies wird auch aus der Beispielübersicht aus Anhang 8.3.1 deutlich. Durch den Wegfall des Kriteriums „Komplexität“ unterscheidet sich das Beispiel Nummer 8 nicht mehr von den Beispielen Nummer 9 und Nummer 12, obwohl das Beispiel Nummer 8 im Gegensatz zu den beiden anderen Beispielen als signifikant eingestuft ist. Das Kriterium „Komplexität“ ist somit erforderlich, um den Unterschied in der Signifikanzbewertung für diese drei Beispiele zu erklären. Diese Erkenntnisse führen zu der Überlegung, die Elemente Nummer 3 und Nummer 8 aus der Datenbasis zu entfernen und hierfür eine Diskriminanzanalyse ohne die Merkmalsvariable „Komplexität“ sowie eine weitere Diskriminanzanalyse ohne die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ durchzuführen. Gleichzeitig soll eine zusätzliche Diskriminanzanalyse für diese veränderte Datenbasis durchgeführt werden, bei der beide Merkmalsvariablen aus der Diskriminanzfunktion ausgeschlossen werden. Diese Betrachtungen sind in Anhang 8.3.7 beschrieben.

6.5.6 Klassifikation neuer Elemente

Wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits angeklungen ist, existieren verschiedene Verfahren zur Klassifikation neuer Elemente. Das grundlegende Ziel der Klassifikation ist es, Elemente anhand ihrer Merkmalsvariablen sowie der durchgeführten Diskriminanzanalyse eindeutig einer Gruppe zuzuordnen. Für die vorliegende Problemstellung soll somit eine Methode der Klassifikation identifiziert werden, mit der Änderungen anhand der Ausprägung ihrer Kriterien als signifikant oder nicht signifikant bewertet werden. Dabei bestehen die

Anforderungen an die Klassifikationsmethode, dass diese einerseits besonders aussagekräftig, aber andererseits in ihrer Anwendung nicht komplexer als erforderlich sein sollte.

Bereits in Abschnitt 6.2.1 ist anhand der Diskriminanzachse sowie der darauf dargestellten Gruppenzentroiden gezeigt worden, dass eine Klassifikation neuer Elemente im Zwei-Gruppenfall anhand der Betrachtung des kritischen Diskriminanzwerts Y^* möglich ist. In Abschnitt 6.5.3 konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass dieser kritische Diskriminanzwert für die ermittelte Diskriminanzfunktion wie im Zwei-Gruppenfall üblich den Wert Null besitzt. Anhand der vorliegenden Diskriminanzfunktion aus Formel (10) kann somit für jedes neu betrachtete Element anhand seiner Merkmalsvariablen ein Diskriminanzwert bestimmt werden. Mit diesem Diskriminanzwert kann unter Zuhilfenahme der Betrachtung aus Formel (12) das Element einer der beiden Gruppen zugeordnet werden.

- (12) $Y < 0$ Änderung wird der Gruppe „nicht signifikant“ zugeordnet
 $Y > 0$ Änderung wird der Gruppe „signifikant“ zugeordnet

mit:

$$Y^* = 0$$

Die Klassifikation neuer Elemente anhand des kritischen Diskriminanzwerts stellt das Verfahren mit dem geringsten Aufwand dar und ist darüber hinaus besonders anschaulich, da die Klassifikation anhand der Diskriminanzachse grafisch dargestellt werden kann (vgl. Abbildung 20). Diese Methode der Klassifikation ist jedoch nur dann möglich, wenn die Anzahl der Elemente innerhalb der Gruppen gleich groß oder annähernd gleich groß ist. Der kritische Diskriminanzwert Y^* entspricht im Zwei-Gruppenfall dem Gesamtmittelwert aller Diskriminanzwerte und wird durch die Wahl des konstanten Glieds b_0 zu Null. Bei einer gleichen Größe der Gruppen besitzt somit der kritische Diskriminanzwert und damit auch der Nullpunkt denselben Abstand zu beiden Gruppen-Zentroiden. Je ungleicher die Größe der beiden Gruppen jedoch wird, desto größer wird der Unterschied des Betrags der beiden Gruppen-Zentroiden, so dass eine Untersuchung des kritischen Diskriminanzwerts nicht länger mit einer Abstandsbetrachtung gleichgesetzt werden kann.

Diese Erläuterungen führen automatisch zur Klassifizierung anhand des Distanzkonzepts, bei dem der quadrierte Abstand des ermittelten Diskriminanzwerts von den Gruppen-Zentroiden betrachtet wird. Das neue Element wird hierbei der Gruppe zugeordnet, zu der es die geringste Distanz aufweist. Existieren mehrere Diskriminanzfunktionen, ist laut [BAC11] jedoch eine Untersuchung der quadrierten euklidischen Distanz erforderlich. Mehrere Diskriminanzfunktionen treten dann auf, wenn die abhängige Variable über mehr als zwei Gruppen verfügt. Hierbei müssen die Standardabweichungen der Variablen sowie die Korrelation zwischen den Variablen berücksichtigt werden. Dieses Distanzmaß wird als Mahalanobis-Distanz bezeichnet. Für den Fall, dass alle Diskriminanzfunktionen berücksichtigt werden und eine Gleichheit der Gruppenstreuungen vorliegt, führt die Klassifizierung anhand der Mahalanobis-Distanz zum selben Ergebnis wie die Anwendung der Klassifizierungsfunktion nach Fischer. Bei diesem Konzept wird für jede Gruppe eine Klassifizierungsfunktion ermittelt. Durch Einsetzen der Merkmalswerte des zu klassifizierenden Elements in die vorhandenen Klassifizierungsfunktionen der

unterschiedlichen Gruppen erhält man jeweils einen Funktionswert. Das Element ist daraufhin der Gruppe zuzuordnen, für die der ermittelte Funktionswert maximal ist. Für die betrachtete Problemstellung ist die Klassifizierung anhand des einfachen Distanzkonzepts ausreichend, da zum einen aufgrund des Zwei-Gruppenfalls ausschließlich eine Diskriminanzfunktion existiert und darüber hinaus in Abschnitt 6.5.1 gezeigt werden konnte, dass die Gleichheit der Gruppenstreuungen angenommen werden kann. Darüber hinaus können neue Elemente auch anhand eines Wahrscheinlichkeitskonzepts klassifiziert werden. Hierbei wird ein neues Element derjenigen Gruppe zugeordnet, für die die Wahrscheinlichkeit maximal ist. Dieses Konzept baut auf dem Distanzkonzept auf und kann zum einen die Kosten einer Fehlklassifikation sowie die unterschiedlichen A-priori-Wahrscheinlichkeiten der jeweiligen Gruppen berücksichtigen. Für die vorliegende Problemstellung ist aufgrund der nahezu identischen Gruppengröße auch die A-priori-Wahrscheinlichkeit der beiden Gruppen ähnlich groß. Liegen jedoch unterschiedliche Gruppengrößen vor, ist dies eine zusätzliche Information, die das Wahrscheinlichkeitskonzept bei der Klassifikation neuer Elemente berücksichtigen kann. Des Weiteren erscheint auch eine Berücksichtigung der Kosten einer Fehlklassifikation für die Signifikanzbewertung von Änderungen nicht als sinnvoll. Zum einen ist davon auszugehen, dass in der Praxis die Klassifikation von Änderungen in die Gruppe „signifikant“ oder „nicht signifikant“ durch die jeweiligen Anwender überprüft wird. Insbesondere wird eine Überprüfung für Änderungen erfolgen, die anhand des in dieser Arbeit beschriebenen Verfahrens in einen Grenzbereich zwischen den beiden Gruppen fallen. Für andere Bereiche besitzt die Klassifizierung anhand des Wahrscheinlichkeitskonzepts jedoch große Relevanz. Beispielsweise ist im Rahmen der Kreditwürdigkeitsprüfung eine Betrachtung der Kosten der Fehlklassifikation sinnvoll, da für diesen Anwendungsbereich die Kosten einer Fehlklassifikation relativ gut zu ermitteln sind und so eine automatisierte Kreditwürdigkeitsprüfung erfolgen kann. Ohne die Berücksichtigung der unterschiedlichen A-priori-Wahrscheinlichkeiten und der Kosten einer Fehlklassifikation unterscheidet sich das Wahrscheinlichkeitskonzept jedoch nach Aussage von [BAC11] nicht vom Distanzkonzept. Somit sollte die Klassifizierung neuer Elemente für die vorhandene Problemstellung anhand des kritischen Diskriminanzwerts oder bei unterschiedlich großen Gruppen anhand des Distanzkonzepts, das den einfachen oder den quadrierten Abstand von den Gruppen-Zentroiden betrachtet, erfolgen.

Die Tabelle 41 stellt die Klassifizierung der 33 vorhandenen Elemente dar, die auf der ermittelten Diskriminanzfunktion aus Formel (10) basiert. Die Tabelle enthält neben der Nummer der Beispiele deren tatsächliche Gruppenzuordnung sowie die Diskriminanzwerte für jedes der 33 Elemente. Dabei sind in der Tabelle sowohl die erfolgte Gruppenzuordnung als auch die dadurch ausgeschlossene Gruppenzuordnung aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass alle 33 Elemente korrekt klassifiziert werden. Darüber hinaus enthält die Tabelle jeweils für beide Gruppen die Wahrscheinlichkeit für die Zugehörigkeit zu dieser Gruppe sowie den quadrierten Mahalanobis-Abstand vom Zentroiden dieser Gruppe. Zusätzlich ist für die Gruppe, der das Element zugeordnet wurde, die Wahrscheinlichkeit dafür aufgeführt, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden dieser Gruppe besitzt als das untersuchte Element. Diese Betrachtung ist bei Anwendung des Wahrscheinlichkeitskonzepts erforderlich, da die Addition aller Wahrscheinlichkeiten der jeweiligen Gruppenzugehörigkeiten immer Eins ergeben. Damit schließt das

Wahrscheinlichkeitskonzept aus, dass ein Element keiner der vorhandenen Gruppen angehört. Hieraus ist zu erkennen, dass das Beispiel Nummer 20 mit einer Wahrscheinlichkeit von Eins der Gruppe „nicht signifikant“ zugeordnet wird. Trotzdem beträgt die Wahrscheinlichkeit nur 0,2 Prozent, dass ein Element derselben Gruppe weiter vom Zentroiden entfernt ist. Die Betrachtung des Diskriminanzwerts macht deutlich, dass dieses Element im negativen Bereich auf der Diskriminanzachse noch links vom Zentroiden der Gruppe „nicht signifikant“ liegt. Die Zuordnung dieses Elements zur Gruppe „nicht signifikant“ muss nicht angezweifelt werden, da keine dritte Gruppe existiert und die Schaffung einer solchen dritten Gruppe für die vorliegende Problemstellung nicht erforderlich ist.

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Diskriminanzwerte	Vorhergesagte Gruppe				Nicht vorhergesagte Gruppe		
			Vorhergesagte Gruppe	$P(D>d \mid G=g)^*$	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid	Gruppe	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid
1	0	-1,457	0	0,679	0,993871	0,171	1	0,006129	10,348
2	1	1,279	1	0,631	0,992185	0,231	0	0,007815	9,919
3	0	-0,559	0	0,190	0,861519	1,720	1	0,138481	5,376
4	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383
5	1	1,279	1	0,631	0,992185	0,231	0	0,007815	9,919
6	0	-3,241	0	0,170	0,999991	1,879	1	0,000009	25,008
7	0	-2,343	0	0,637	0,999753	0,223	1	0,000247	16,831
8	1	0,394	1	0,172	0,835951	1,867	0	0,164049	5,124
9	0	-0,505	0	0,172	0,836471	1,864	1	0,163529	5,129
10	0	-2,289	0	0,676	0,999699	0,175	1	0,000301	16,392
11	0	-1,551	0	0,749	0,995634	0,102	1	0,004366	10,961
12	0	-0,505	0	0,172	0,836471	1,864	1	0,163529	5,129
13	1	1,279	1	0,631	0,992185	0,231	0	0,007815	9,919
14	0	-1,457	0	0,679	0,993871	0,171	1	0,006129	10,348
15	0	-2,569	0	0,485	0,999891	0,488	1	0,000109	18,739
16	0	-0,719	0	0,250	0,917570	1,325	1	0,082430	6,145
17	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383
18	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383
19	1	2,689	1	0,353	0,999953	0,863	0	0,000047	20,787
20	0	-5,025	0	0,002	1,000000	9,952	1	0,000000	46,033
21	0	-2,503	0	0,527	0,999862	0,400	1	0,000138	18,172
22	0	-1,457	0	0,679	0,993871	0,171	1	0,006129	10,348
23	0	-1,457	0	0,679	0,993871	0,171	1	0,006129	10,348
24	0	-2,289	0	0,676	0,999699	0,175	1	0,000301	16,392
25	1	1,065	1	0,487	0,983148	0,483	0	0,016852	8,615
26	1	1,065	1	0,487	0,983148	0,483	0	0,016852	8,615
27	1	1,791	1	0,975	0,998772	0,001	0	0,001228	13,403
28	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383
29	1	0,999	1	0,447	0,978682	0,579	0	0,021318	8,232
30	1	3,735	1	0,048	0,999999	3,901	0	0,000001	31,420
31	1	1,279	1	0,631	0,992185	0,231	0	0,007815	9,919
32	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383
33	1	2,178	1	0,676	0,999698	0,174	0	0,000302	16,383

$P(D>d \mid G=g)^*$: Gibt die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür an, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden besitzt als das betrachtete Element.

Tabelle 41: Klassifizierung der vorhandenen Elemente

Die Betrachtung des Diskriminanzwerts macht darüber hinaus deutlich, dass eine Klassifikation der Elemente anhand des kritischen Diskriminanzwerts für die vorliegende Betrachtung ausreichend ist. Da der kritische Diskriminanzwert für diesen Zwei-Gruppenfall Null ist, kann anhand des Vorzeichens des Diskriminanzwerts des betrachteten Elements eine Klassifizierung der Gruppenzuordnung erfolgen. Dabei hat ein negatives Vorzeichen eine Zuordnung in die Gruppe „nicht signifikant“ zur Folge. Positive Diskriminanzwerte sorgen für eine Klassifizierung des betrachteten Elements in die Gruppe „signifikant“. Die Tabelle 41 macht deutlich, dass anhand der Betrachtung des kritischen Diskriminanzwerts für alle 33 Elemente die Gruppe vorhergesagt wird, in die auch das Wahrscheinlichkeitskonzept das

betreffende Element klassifiziert hätte. Damit werden auch mit Hilfe des kritischen Diskriminanzwerts alle Elemente korrekt klassifiziert.

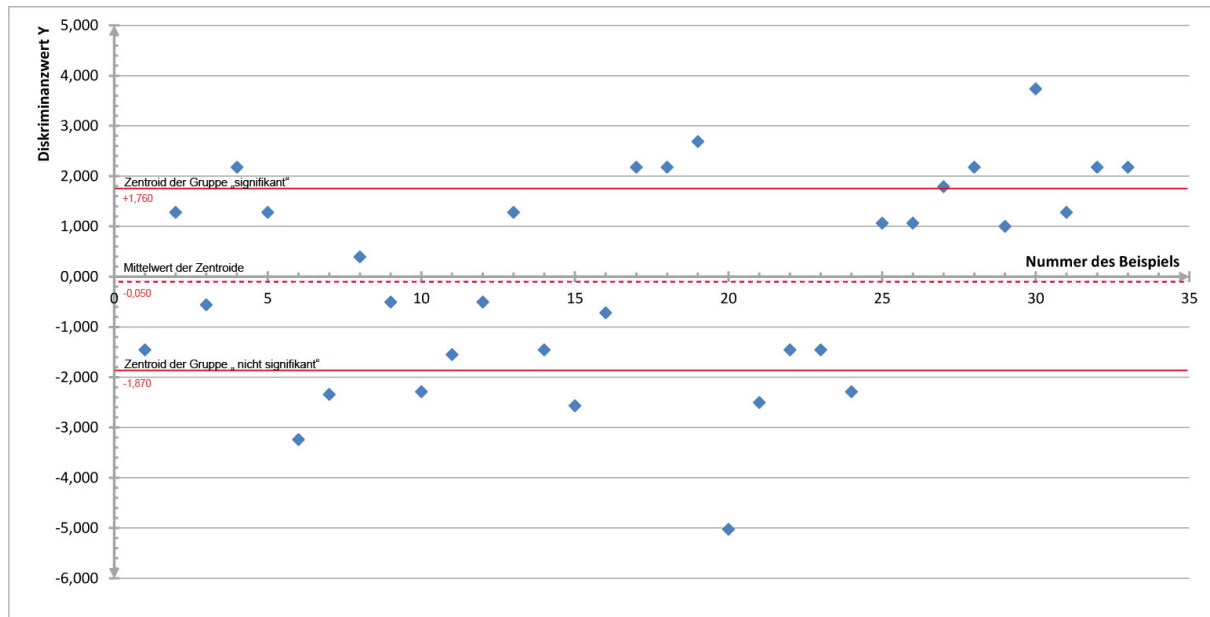


Abbildung 21: Diagramm der Diskriminanzwerte der untersuchten Beispiele

Die Untersuchung der Gruppen-Zentroiden aus Tabelle 33 zeigt hingegen, dass der Mittelwert der Zentroiden durch die leicht unterschiedlichen Gruppengrößen nicht der Nullpunkt ist. Vielmehr liegt dieser Mittelwert bei -0,05, so dass Elemente in dem Intervall zwischen diesem Wert und dem Nullpunkt zwar ein negatives Vorzeichen besitzen, jedoch trotzdem näher am Zentroiden der Gruppe „signifikant“ liegen. Die Abbildung 21 enthält die 33 Elemente und stellt diese anhand ihrer Diskriminanzwerte in einem Diagramm dar. In diesem Diagramm sind neben den Elementen, die als blaue Punkte dargestellt sind, die beiden Gruppen-Zentroiden sowie ihr Mittelwert als Linien dargestellt. Der kritische Diskriminanzwert besitzt den Wert Null und entspricht im Diagramm der X-Achse, auf der die Nummer der Beispiele abgetragen ist.

6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Innerhalb des Abschnitts 6.5 konnte gezeigt werden, dass einerseits die Anforderungen an die Anwendung der Diskriminanzanalyse erfüllt sind. Des Weiteren wurde die Diskriminanzfunktion für die vorliegende Problemstellung beschrieben und deren Güte nachgewiesen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass alle Merkmalsvariablen zur Trennkraft der Diskriminanzfunktion beitragen und somit keine Merkmalsvariable aus der Diskriminanzfunktion entfernt werden sollte. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass dies auch für das Kriterium „Umkehrbarkeit“ gilt, dessen Relevanz für die Signifikanzbewertung in mehreren Verfahren aus Abschnitt 4.2 angezweifelt wird. Jedoch wurde in Abschnitt 6.5.5 sowie in Anhang 8.3.7 gezeigt, dass die diskriminatorische Bedeutung der Merkmalsvariablen „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ jeweils an nur einem Element der vorhandenen Datenbasis festgemacht werden kann. Desweiteren macht eine Untersuchung der kreuzvalidierten Daten in Anhang 8.3.8 deutlich, dass auch hier alle 33 Elemente korrekt klassifiziert werden. Bei der Kreuzvalidierung wird für jedes Element betrachtet, welche

Klassifikation für das Element auf Grundlage derjenigen Diskriminanzfunktion erfolgen würde, die aus allen Elementen unter Ausschluss des betrachteten Elements bestimmt worden ist. Damit existiert kein Element, welches nur dadurch korrekt klassifiziert ist, weil es Teil der Stichprobe ist, die zur Ermittlung der Diskriminanzanalyse genutzt wurde. Jedoch ist eine Vergrößerung der Stichprobe sinnvoll, da vor allem die beiden Merkmalsvariablen „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ nur in wenigen Elementen mit einer Ausprägung von Eins vertreten sind. Gleichzeitig besteht mit einer größeren Anzahl von Elementen je Gruppe die Möglichkeit, die Ergebnisse zusätzlich anhand der logistischen Regressionsanalyse zu validieren. Eine solche logistische Regressionsanalyse wurde trotz der für dieses Verfahren zu kleinen Datenbasis durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind daher unter Vorbehalt zu betrachten. Auch dieses Verfahren ermittelt für die vorliegende Stichprobe ein Modell, anhand dessen alle 33 Elemente korrekt klassifiziert werden. Die Ergebnisse dieser logistischen Regression sind in Anhang 8.3.11 ausführlich dargestellt. Gleichzeitig erfolgt in Tabelle 42 am Ende dieses Abschnitts eine Untersuchung des Beispiels Nummer 29, bei der auch die Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse berücksichtigt werden.

Werte der Variablen des Beispiels Nummer 29	Beschreibung der Glieder	DB-Verfahren		Diskriminanzanalyse		Logistische Regressionsanalyse	
		Gewichtung der Kriterien	Werte der Glieder	Diskriminanzkoeffizienten	Werte der Glieder	Regressionskoeffizienten	Werte der Glieder
	konstanter Term	-6,000	-6,000	-8,593	-8,593	-193,683	-193,683
4	Ausfallfolgen	1,000	4,000	1,784	7,136	35,769	143,076
0	Innovation	1,000	0,000	1,368	0,000	34,592	0,000
0	Komplexität	1,000	0,000	0,898	0,000	33,792	0,000
1	Überwachung	1,000	1,000	2,456	2,456	69,200	69,200
0	Umkehrbarkeit	1,000	0,000	1,624	0,000	34,943	0,000
Änderung gehört der Gruppe "signifikant" an	Ergebnisse	Wert	-1,000	Diskriminanzwert	0,999	z-Wert	18,593
		Wahrscheinlichkeit für Gruppenzugehörigkeit	-	Wahrscheinlichkeit für Gruppenzugehörigkeit	0,979	Wahrscheinlichkeit für Gruppenzugehörigkeit	1,000
		nicht signifikant		signifikant		signifikant	

Tabelle 42: Betrachtung des Beispiels Nummer 29

Im Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass die Klassifikation anhand des kritischen Diskriminanzwerts für die vorliegenden Elemente ausreichend ist. Jedoch wurde auch gezeigt, dass diese Betrachtung durch die leicht unterschiedlichen Gruppengrößen für Elemente, deren Diskriminanzwerte in einem Intervall zwischen -0,05 und dem Nullpunkt liegen, zu einer falschen Klassifikation führen kann. Darüber hinaus wurde dargestellt werden, dass anhand der vorliegenden Diskriminanzfunktion alle 33 Elemente korrekt klassifiziert werden. Somit liegt nun anhand des hier gewählten Vorgehens erstmals ein Verfahren vor, dass nicht nur alle Kriterien in einem Verfahren vereint, sondern zusätzlich über eine begründete Gewichtung dieser Kriterien sowie über eine begründete Klassifikationsmöglichkeit verfügt, anhand derer neue Änderungen als signifikant oder nicht signifikant bewertet werden können. Gleichzeitig macht eine Untersuchung der Änderungen deutlich, dass anhand des DB-Verfahrens nur 32 der 33 Elemente korrekt klassifiziert worden wären. Das Beispiel Nummer 29 würde bei der Anwendung des DB-Verfahrens und des Punkteschemas aus Anhang 8.2.5 einen Punktwert von 5 erhalten und folglich als nicht signifikant bewertet werden. Sowohl die Bestimmung des Diskriminanzwerts als auch die Ermittlung des z-Werts mit Hilfe der Regressionskoeffizienten, die durch die logistische Regression ermittelt wurden, sorgt hingegen für eine korrekte Zuordnung dieses Element zur Gruppe „signifikant“. Dies entspricht auch der tatsächlichen Einschätzung der SBB aus [SHA10]. In Tabelle 42 ist der beschriebene Sachverhalt sowie die Berechnung noch einmal ausführlich dargestellt. Im

folgenden Abschnitt soll nun das Verfahren zusammenfassend beschrieben werden, das sich aus den gewonnenen Ergebnissen herleiten lässt.

6.7 Beschreibung des vollständigen Verfahrens

Anhand der jetzt vorliegenden Ergebnisse kann das Verfahren zur Signifikanzbewertung konstruiert werden. Die Abbildung 18 stellt den gesamten Prozess dar, in den sich das Verfahren zur Signifikanzbewertung eingliedert. Zunächst ist für eine vorliegende Änderung zu prüfen, ob diese unter die Definition einer relevanten Änderung aus Tabelle 23 fällt. Ist dies der Fall, ist die Sicherheitsrelevanz dieser Änderung zu prüfen. Wird die Änderung als sicherheitsrelevant eingestuft, muss eine Bewertung der Kriterien erfolgen. Sowohl die Prüfung der Sicherheitsrelevanz als auch die Bewertung der Kriterien erfolgt dabei mit der Tabelle 24 bei Änderungen an technischen Systemen oder anhand der Tabelle 25 bei Änderungen an Prozessen und Verfahren. Sind durch die Änderung sowohl technische Systeme als auch Prozesse und Verfahren betroffen, erfolgt die Bewertung der Kriterien anhand beider Tabellen, wobei die höchste Bewertung beider Tabellen für das Kriterium jeweils maßgeblich ist. Die beiden Tabellen verfügen auch noch über die Punktwerte des DB-Verfahrens. Für eine Vereinfachung der Anwendung ist es sinnvoll, die Diskriminanzkoeffizienten aus Tabelle 33 und die Punktwerte der Kriterien zusammenzufassen. Diese Zusammenfassung ist in Tabelle 43 dargestellt. Die ermittelten neuen Punktwerte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet. Eine Rundung auf Punktwerte ohne Nachkommastellen ist in Anhang 8.3.9 betrachtet. Diese Rundung würde die ohnehin schon wenig komplexe Berechnung weiter vereinfachen. Auch anhand dieser Vereinfachung werden alle Elemente der vorhandenen Datenbasis korrekt klassifiziert. Jedoch könnte aufgrund dieser Vereinfachung das Entscheidungskriterium nicht mehr anschaulich als Abstandsbetrachtung interpretiert werden. Die Klassifizierung von Änderungen sollte vielmehr wie laut [HOL13²] bei der DB AG mit Hilfe eines Templates erfolgen, in dem die einzelnen Punktwerte und die Berechnung hinterlegt sind und somit der Aufwand für die Berechnung unerheblich ist.

Kriterium	Kategorie	Neuer Punktwerte	Ermittelter Diskriminanzkoeffizient	Punktwert der Kategorie im DB-Verfahren
Folge von Ausfällen	SIL 4 / katastrophal	7,14	1,783971	4,00
	SIL 3 / kritisch	5,35		3,00
	SIL 2 / marginal	3,57		2,00
	SIL 1 / unbedeutend	1,78		1,00
Innovation	hoch	2,74	1,368052	2,00
	gering	0,00		0,00
Komplexität	hoch	0,90	0,898206	1,00
	gering	0,00		0,00
Überwachbarkeit	gering	2,46	2,455902	1,00
	hoch	0,00		0,00
Umkehrbarkeit	nein	1,62	1,623698	1,00
	ja	0,00		0,00

Tabelle 43: Punktwerte der Kriterien im neuen Verfahren

Um eine vergleichbare Anwendung zum DB-Verfahren zu erhalten, sollten das konstante Glied b_0 der Diskriminanzfunktion aus Tabelle 33 sowie der kritische Diskriminanzwert Y^* zusammengefasst werden. Gleichzeitig konnte in Abschnitt 6.5.6 gezeigt werden, dass der

Mittelwert der beiden Zentroiden durch die leicht unterschiedliche Gruppengröße nicht dem Nullpunkt entspricht, sondern dieser einen Wert von -0,05 besitzt. Dieser Aspekt kann bei der Zusammenfassung des konstanten Glieds und des kritischen Diskriminanzwerts berücksichtigt werden, so dass das dann im Verfahren verwendete Entscheidungskriterium den tatsächlichen Abstand von beiden Zentroiden betrachtet. Der Diskriminanzwert eines neuen Elements kann mit der Diskriminanzfunktion aus Formel (10) berechnet werden. Bei der Anwendung der Funktion sind jedoch die Diskriminanzkoeffizienten nicht mehr zu berücksichtigen, da diese nun bereits Teil der Punktwerte in Tabelle 43 sind. Die Klassifikation im Verfahren soll nun anhand des kritischen Diskriminanzwerts erfolgen, der um den unterschiedlichen Abstand der Zentroiden vom Nullpunkt korrigiert ist. Somit ergibt sich das in Formel (13) beschriebene Entscheidungskriterium. Da der Nullpunkt und damit auch der kritische Diskriminanzwert um den Wert 0,05 näher an dem Zentroiden der Gruppe „signifikant“ liegt, muss dieser Wert in der Formel berücksichtigt werden. Mit dieser Anpassung gibt das Vorzeichen eine eindeutige Aussage darüber, welchem Gruppen-Zentroiden das untersuchte Element näher liegt. Analog zum DB-Verfahren kann der Term so umgestellt werden, dass ein Schwellenwert vorliegt, ab dem eine Änderung als signifikant eingestuft wird. Dieser Schwellenwert kann so interpretiert werden, dass die Summe der Punktwerte der einzelnen Kriterien ab diesem Wert dafür sorgt, dass das betrachtete Element näher am Gruppen-Zentroiden „signifikant“ liegt und somit dieses Element auch als signifikant klassifiziert wird.

$$(13) \quad \begin{array}{l} X_{Ausf.,i} + X_{Inno.,i} + X_{Kompl.,i} + X_{Überw.,i} + X_{Umk.,i} < 8,54 \text{ Klassifizierung als "nicht signifikant"} \\ > 8,54 \text{ Klassifizierung als "signifikant"} \end{array}$$

Der Schwellenwert ist wiederum auf zwei Nachkommastellen gerundet und besitzt den Wert von 8,54. Würde die Addition der Punktwerte der einzelnen Kriterien genau 8,54 ergeben, besäße dieses Element zu beiden Gruppen-Zentroiden denselben Abstand. Eine Klassifikation des Elements in eine der beiden Gruppen wäre in diesem Fall nicht möglich. Ein ausführlicher Vergleich der Punktwerte des neu entwickelten Verfahrens mit den Punktwerten des DB-Verfahrens ist in Anhang 8.3.10 beschrieben. Hieraus wird deutlich, dass anhand der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die vorliegende Datenbasis mit der Formel (13) nicht nur eine optimale Lösung für die Klassifikation der Änderungen hergeleitet wurde. Vielmehr konnte auch gezeigt werden, dass für die vorliegende Datenbasis das Punkteschema des DB-Verfahrens keine Gültigkeit besitzt. Nach der Bewertung der Kriterien sowie der anschließenden Anwendung der Formel (13) liegt eine Signifikanzbewertung vor. Die Abbildung 18 beschreibt abhängig von der Signifikanz der Änderung, welches weitere Vorgehen erforderlich ist. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen wurde in diesem Abschnitt mit den nun vorliegenden Ergebnissen der Diskriminanzanalyse zusammenfassend dargestellt. Das gesamte Verfahren ist darüber hinaus in Anhang 8.5 mit allen relevanten Abbildungen und Tabellen beschrieben. Dies umfasst auch die überarbeitete Fassung der Tabelle 24 sowie der Tabelle 25, bei denen die ursprünglichen Punktwerte des DB-Verfahrens durch die angepassten Punktwerte aus Tabelle 43 ersetzt wurden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung eines Verfahrens zur Signifikanzbewertung von Änderungen. Anhand der Untersuchungen der Verfahren aus eisenbahnfremden Bereichen sowie der Verfahren, die für die Signifikanzbewertung von Änderungen im Bahnbereich entwickelt wurden, konnten wesentliche Aspekte hinsichtlich dieses Verfahrens geklärt werden, die sich aus der CSM-Verordnung sowie den offiziellen Dokumente der ERA nicht ergeben. Dies betrifft zunächst vor allem die Einordnung der Signifikanzbewertung in den gesamten Kontext des Risikomanagements der CSM-Verordnung. So liegt erstmals eine Übersicht vor, die alle Aspekte berücksichtigt und aus der klar hervorgeht, welche Relevanz die einzelnen Schritte für das weitere Vorgehen besitzen. Gleichzeitig konnte definiert werden, auf welche Änderungen das Verfahren zur Signifikanzbewertung im Einklang mit der CSM-Verordnung anzuwenden ist. Ein weiterer wesentlicher Aspekt war die Untersuchung der Kriterien. Diesbezüglich wurde gezeigt, dass sowohl risikobasierte als auch qualitative Kriterien im Verfahren zum Einsatz kommen sollten und anhand der qualitativen Kriterien zu bewerten ist, welche Erfahrung die Organisation mit der Durchführung der Änderung besitzt. Zusätzlich wurde gezeigt, dass mit der Ausfallfolgen-Unsicherheitsmatrix ein Ansatz existiert, der auf die ORR zurückgeht und eine fundierte Verbindung der qualitativen und risikobasierten Kriterien liefert. Mit Hilfe dieses Verständnisses sowie der Verfahren der DB AG und des NeGSt-Berichts, die auf dem Ansatz der ORR aufbauen, konnte eine Definition der einzelnen Kriterien und ihrer Kategorien erfolgen. Zusätzlich wurde das Punkteschema untersucht, das beiden Verfahren zugrunde liegt.

In diesem Zusammenhang wurde für die Formel zur Berechnung des Projektaufwands des COCOMO II-Modells gezeigt, dass sich diese Formel in ein Score-Modell transformieren lässt, das vergleichbar mit dem Punkteschema des DB-Verfahrens und des NeGSt-Verfahrens ist. Dabei werden die Faktoren der ursprünglichen Formel zur Berechnung des Projektaufwands nun im Score-Modell als Summanden berücksichtigt. Hierdurch wurde eine Begründung für die grundsätzliche Relevanz des Punkteschemas geliefert, das sowohl das DB-Verfahren als auch das NeGSt-Verfahren nutzt. Gleichzeitig wurde jedoch gezeigt, dass dieses Punkteschema der beiden Verfahren zwar plausible Ergebnisse liefert, jedoch über keine Begründung der dort verwendeten Gewichtung und des verwendeten Entscheidungskriteriums verfügt. Diesbezüglich wurde im Weiteren dargestellt, dass sich diese beiden Aspekte als ein Klassifikationsproblem interpretieren lassen, welches anhand der multivariaten Analyseverfahren der Diskriminanzanalyse gelöst werden kann. Auf Grundlage einer Datenbasis mit 33 Änderungen, die den gestellten Anforderungen entsprechen, wurde daraufhin eine statistisch optimale Lösung für das vorliegende Problem mit Hilfe der Diskriminanzanalyse ermittelt. Dabei konnte gezeigt werden, dass diese Ergebnisse zur Formulierung eines Entscheidungskriteriums genutzt werden können, welches weiterhin seine wissenschaftliche Begründung besitzt und sich in seiner einfachen Anwendbarkeit am Punkteschema des DB-Verfahrens orientiert. Darüber hinaus wurde dargestellt, dass das Punkteschema des DB-Verfahrens im Gegensatz zum neu entwickelten Verfahren nicht alle

Änderungen korrekt klassifiziert und zudem für die vorliegende Datenbasis keine Gültigkeit besitzt.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist in Anhang 8.5 ausführlich das hier konstruierte Verfahren beschrieben. Dieser Anhang 8.5 ist dabei so aufgebaut, dass auch ohne Kenntnis dieser Arbeit nur allein anhand der dort beschriebenen Informationen eine Bewertung der Signifikanz von Änderungen erfolgen kann. Bei der Beschreibung des gesamten Vorgehens wurde besonders auf die Nachvollziehbarkeit aller Schritte geachtet. Aus diesem Grund enthält Anhang 8.3.1 die Tabelle mit der gesamten Datenbasis der 33 Änderungen, die im Rahmen der Diskriminanzanalyse verwendet wurden. In Anhang 8.4 ist die Durchführung einer Diskriminanzanalyse anhand des freien Programms R allgemeinverständlich beschrieben, so dass durch Dritte sowohl eine Überprüfung der Ergebnisse als auch die Untersuchung eigener Beispiele erfolgen kann.

7.2 Ausblick

Die Untersuchung der vorliegenden Datenbasis in Kapitel 6 hat gezeigt, dass das dort gewählte Vorgehen für die vorliegende Problemstellung geeignet ist und darüber hinaus zu wissenschaftlichen und praktikablen Ergebnissen führt. Dabei konnte gezeigt werden, dass dieses Verfahren im Gegensatz zu den bisher existierenden Verfahren nicht nur über eine nachvollziehbare Begründung verfügt, sondern auch belastbare Ergebnisse liefert. So wurden anhand der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse alle Elemente der vorhandenen Datenbasis korrekt klassifiziert. Zudem konnte hinsichtlich des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ einerseits anhand einer qualitativen Betrachtung in Kapitel 5 sowie auch im Rahmen der Diskriminanzanalyse in Kapitel 6 gezeigt werden, dass dieses Kriterium für die Signifikanzbewertung von Relevanz ist. Einschränkend ist jedoch sowohl für dieses Kriterium als auch für das Kriterium „Komplexität“ festzuhalten, dass die diskriminatorische Bedeutung dieser Kriterien jeweils nur an einem einzelnen Element der Datenbasis festgemacht werden kann. Ihre Bedeutung für die Signifikanzbewertung ist somit jeweils auch an die korrekte Bewertung des betreffenden Beispiels gebunden. Aus diesem Grund ist eine weitergehende Untersuchung von Änderungen anhand des in dieser Arbeit beschriebenen Vorgehens sinnvoll. Insbesondere hierfür wurde wie bereits erläutert in Anhang 8.4 die Durchführung einer Diskriminanzanalyse anhand des freien Programms R beschrieben und die gesamte verwendete Datenbasis offengelegt. Die vorliegende Datenbasis macht zudem deutlich, dass vor allem die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ im Vergleich zu den weiteren Kriterien nur in wenigen Elementen mit einer Ausprägung von ungleich null vorliegen. Gleichzeitig entstammt eine Mehrzahl der vorhandenen Beispiele dem Bereich Technik. Diese beiden Aspekte machen deutlich, dass eine Vergrößerung der Anzahl der Änderungen in der Datenbasis anzuraten ist, um noch belastbarere Ergebnisse zu erzielen. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass die Diskriminanzfunktion durch das Hinzukommen jedes weiteren Elements eine Veränderung erfährt. Somit darf das in dieser Arbeit entwickelte Entscheidungskriterium, welches auf den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse beruht, nicht als feststehendes Ergebnis betrachtet werden. Vielmehr macht auch dieser Aspekt deutlich, dass eine weitergehende Betrachtung und eine regelmäßige Untersuchung der sich stetig erweiternden Datenbasis anhand des in dieser Arbeit gewählten Vorgehens erfolgen sollten.

Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass mit der logistischen Regressionsanalyse ein weiteres Verfahren zur Analyse für die vorliegende Problemstellung zur Verfügung steht. Die Anwendung der logistischen Regressionsanalyse in Anhang 8.3.11 hat trotz der zu kleinen Datenbasis gezeigt, dass auch dieses Verfahren belastbare Ergebnisse liefert. Die angeratene Vergrößerung der Datenbasis würde somit zusätzlich dafür sorgen, dass auch formal die Voraussetzungen für die Anwendung dieses Verfahrens erfüllt sind. Hingegen ist festzuhalten, dass für die Anwendung der logistischen Regressionsanalyse zunächst ausführlich betrachtet werden sollte, inwieweit die diesem Verfahren zugrunde liegende Wahrscheinlichkeitsverteilung der logistischen Funktion für die vorliegende Problemstellung praktikabel ist. Eine größere Anzahl von Änderungen würde zudem ermöglichen, technische, betriebliche und organisatorische Änderungen anhand der Diskriminanzanalyse oder auch der logistischen Regression getrennt zu betrachten, um so für alle drei Bereiche von Änderungen ein eigenständiges Entscheidungskriterium zu entwickeln sowie die gegebenenfalls vorhandenen Unterschiede zwischen diesen Bereichen von Änderungen weiter zu untersuchen.

Darüber hinaus bieten auch die Kategorien der einzelnen Kriterien den Raum für weitere wissenschaftliche Untersuchungen. So verfügen die Kriterien in ihrer derzeit vorliegenden Form abgesehen vom Kriterium „Folge von Ausfällen“ nur über binäre Kategorien. Dies führt dazu, dass aufgrund dieser eingeschränkten Bewertungsmöglichkeit mehrere Änderungen über eine identische Bewertung ihrer Kriterien verfügen. Sowohl die Diskriminanzanalyse als auch die logistische Regressionsanalyse sind jedoch in der Lage, unabhängige Variable mit metrischer Skalierung zu untersuchen. Damit könnte eine Bewertung der einzelnen Kriterien auch anhand einer freien Skala oder zumindest mit einer größeren Anzahl von Kategorien erfolgen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass durch eine höhere Anzahl der Kategorien nicht nur die Vergleichbarkeit der Ergebnisse negativ beeinflusst werden kann. Vielmehr ist es hierfür auch notwendig, die Kategorien sinnvoll einzuteilen und verständlich voneinander abzugrenzen. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung wäre somit zu klären, ob für die einzelnen Kriterien eine sinnvolle Erhöhung der Anzahl der Kategorien möglich ist und ob dies einen Einfluss auf die Trennkraft der Diskriminanzfunktion und letztendlich auch auf die Qualität der Signifikanzbewertung besitzt.

8 Anhang

8.1 Anhang zum Kapitel 2

8.1.1 Die gemeinsamen Sicherheitsindikatoren

Wie aus Tabelle 1 in Abschnitt 2.1 ersichtlich, wird in Kapitel 5 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie die Einführung von gemeinsamen Sicherheitsindikatoren gefordert. Mit Hilfe der CSI soll die Bewertung ermöglicht werden, inwieweit die gemeinsamen Sicherheitsziele verwirklicht werden. In Anhang 1 von [EUP04] wird festgelegt, über welche Indikatoren CSI erhoben werden müssen. Die CSI sind dabei zunächst in fünf Gruppen eingeteilt gewesen. Mit der Veröffentlichung der europäischen Richtlinie am 27. November 2009, welche die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie unter anderem hinsichtlich der CSI ändert, existieren mittlerweile sieben Gruppen von Indikatoren. Zudem wurde die Bezeichnung einiger Gruppen in Anhang 1 von [EUK09³] geändert. Diese Indikatorengruppen werden im Folgenden kurz erläutert.

- Unfallbezogene Indikatoren – dies umfasst die Gesamtzahl und die durchschnittliche Zahl der Unfälle sowie der schwer Verletzten und der Getöteten aufgeschlüsselt in festgelegte Unterkategorien
- Indikatoren in Bezug auf gefährliche Güter – dies umfasst Unfälle, bei denen ein Schienenfahrzeug beteiligt ist, welches gefährliche Güter transportiert oder solche Unfälle, die für die Freisetzung von gefährlichen Gütern gesorgt haben
- Indikatoren in Bezug auf Suizide
- Indikatoren in Bezug auf Vorläufer von Unfällen – dies umfasst unter anderem die Gesamtzahl und die durchschnittliche Zahl der Schienenbrüche, der überfahrenen Haltesignale sowie die Anzahl der Rad- und Achsbrüche
- Indikatoren für die Berechnung der wirtschaftlichen Folgen von Unfällen – dies umfasst die Gesamtkosten und Durchschnittskosten aller Unfälle sowie der Arbeitsstunden, die durch den Unfall nicht geleistet werden konnten
- Indikatoren in Bezug auf die technische Sicherheit der Infrastruktur und ihre Umsetzung – dies umfasst u.a. den prozentualen Anteil der mit automatischer Zugsicherung [Zugbeeinflussung, Anmerkung des Verfassers] betriebenen Strecken sowie die Zahl der automatisch oder manuell geschützten Bahnübergänge
- Indikatoren in Bezug auf das Sicherheitsmanagement

Darüber hinaus hat die ERA im Mai 2013 das Dokument [ERA13] veröffentlicht, das eine Hilfestellung bei der Implementierung der CSI in den einzelnen Mitgliedsländern leisten soll. Ziel dieses Dokuments ist die Bereitstellung weiterer Informationen, die dabei helfen sollen, dass in den einzelnen Mitgliedsstaaten vergleichbare CSI zum Einsatz kommen. Dies geschieht vor allem durch die Definition von Begriffen wie „signifikante Unfälle“ oder „signifikante Schäden“, welche in den genannten Vorschriften bezüglich der CSI genutzt werden. Zusätzlich liefert das Dokument im Anhang konkrete Zahlen beispielsweise für die

anzunehmenden Werte von Toten, Leicht- und Schwerverletzten bei der Berechnung von verhinderten Unfällen.

8.1.2 Die gemeinsamen Sicherheitsziele

Der Artikel 7 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie beschreibt die gemeinsamen Sicherheitsziele. Diese CST stellen dabei Sicherheitsniveaus in Form von Risikoakzeptanzkriterien dar, die die einzelnen Bereiche des Eisenbahnsystems sowie das Gesamtsystem mindestens erreichen müssen. Gleichzeitig sollen sie gewährleisten, dass in keinem Mitgliedsstaat die bestehende sicherheitsbezogene Leistungsfähigkeit [und somit das bestehende Sicherheitsniveau, Anmerkung des Verfassers] des Eisenbahnsystems verringert wird. Die RAK sind dabei unterteilt in individuelle Risiken für Fahrgäste und Bedienstete auf der einen Seite sowie gesellschaftliche Risiken auf der anderen Seite. Der Erlass 2009/460/EG setzt die Forderungen der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie nach der Erreichung gemeinsamer Sicherheitsziele um und schreibt konkrete Verfahren für die Berechnung der CST fest. Im Artikel 4 dieses Erlasses wird auf den Anhang verwiesen, in dem das Verfahren und die Formeln zur Berechnung der CST erläutert werden. Gleichzeitig wird in diesem Anhang das Grundmodell dargestellt, wie das Erreichen der CST bewertet werden soll. Darüber hinaus ist in Anlage 2 das Verfahren beschrieben, mit dem die sicherheitsbezogene Leistungsfähigkeit des jeweiligen Mitgliedstaats bewertet wird. Dieses Verfahren sorgt für die Einteilung der beobachteten Leistungsfähigkeit in die drei Kategorien „annehmbare sicherheitsbezogene Leistungsfähigkeit“, „mögliche Verschlechterung der sicherheitsbezogenen Leistungsfähigkeit“ und „wahrscheinliche Verschlechterung der sicherheitsbezogenen Leistungsfähigkeit“. Wird die beobachtete technische Leistungsfähigkeit mittels des Verfahrens in die dritte Kategorie eingeordnet, kann die ERA vom Mitgliedsstaat Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit zu fordern.

8.1.3 Nationale Sicherheitsvorschriften

Der Umgang mit nationalen Sicherheitsvorschriften, auf die unter anderem auch das SMS Bezug nimmt, ist in Artikel 8 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie [EUP04] beschrieben. Dabei wird gefordert, dass die europäischen Mitgliedsstaaten ihre nationalen Sicherheitsvorschriften mit ihrem jeweiligen Inhalt sowie dem Anwendungsbereich notifizieren. Das Ziel dieses Vorgehens ist die Bereitstellung der notwendigen Informationen über die nationalen Sicherheitsvorschriften für alle Beteiligten am Bahnverkehr, so dass keine unnötigen Hindernisse für den Eisenbahnbetrieb zwischen Mitgliedsstaaten bestehen. Um nach der Notifizierung keine neuen Hindernisse aufkommen zu lassen, müssen die Mitgliedsstaaten „alle Änderungen an den notifizierten nationalen Sicherheitsvorschriften und alle möglicherweise angenommenen neuen Sicherheitsvorschriften“ der Kommission mitteilen. Die Kommission überwacht dabei die Einführung solcher neuer Sicherheitsvorschriften durch die Mitgliedsstaaten, damit eine schrittweise Harmonisierung der Sicherheitsvorschriften erzielt werden kann. Dabei steht der Kommission das Recht zu, „die Annahme, das Inkrafttreten oder die Durchführung der Vorschrift auszusetzen“, sofern „die Kommission ernsthafte Zweifel an der Vereinbarkeit des Entwurfs der Sicherheitsvorschrift mit den CSM oder mit dem Ziel, mindestens die CST zu erreichen, (hat)“. Dasselbe gilt, falls „sie der

Auffassung (ist), dass sie ein Mittel zur willkürlichen Diskriminierung oder eine verschleierte Beschränkung des Eisenbahnbetriebs zwischen Mitgliedsstaaten darstellt“.

8.1.4 Die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität

Die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität, auf die unter anderem auch in den Vorschriften des SMS Bezug genommen wird, sind durch die europäische Richtlinie 2008/57/EG geregelt. Diese Richtlinie fasst die beiden existierenden Richtlinien 96/48/EG zur Interoperabilität des europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehrs und der Richtlinie 2001/16/EG zur Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnverkehrs „aus Gründen der Klarheit und Vereinfachung [...] zu einem einzigen Text zusammen“.

Der Zweck dieser Richtlinie [EUP08] ist es, Bedingungen festzulegen, welche für „die Verwirklichung der Interoperabilität des Eisenbahnverkehrs in der Gemeinschaft im Einklang mit der Richtlinie 2004/49/EG“ erforderlich sind. „Diese Bedingungen betreffen die Planung, den Bau, die Inbetriebnahme, die Umrüstung, die Erneuerung, den Betrieb und die Instandhaltung von Bestandteilen dieses Systems und darüber hinaus die Qualifikation sowie die Gesundheits- und Sicherheitsbedingungen in Bezug auf das für seinen Betrieb und seine Instandsetzung eingesetzte Personal.“ Die Tabelle 44 gibt eine Übersicht über die ersten drei Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG. Diese Richtlinie definiert zunächst die wesentlichen Teile des Eisenbahnsystems. Diese werden dann in strukturelle sowie funktionelle Bereiche aufgeteilt, um im letzten Schritt allgemeine und besondere Anforderungen an die jeweiligen Teilsysteme zu definieren. In den besonderen Anforderungen für die Sicherheit der Fahrzeuge ist beispielsweise festgelegt, dass Notausstiege vorhanden und ausgeschildert sein müssen und dass die Steuerung der Türen des Zuges die Sicherheit der Fahrgäste gewährt.

Anhang I	Anhang II	Anhang III
Anwendungsbereich	Teilsysteme	Grundlegende Anforderungen
In Anhang I erfolgt die Definition des Netzes und der Fahrzeuge aufgeteilt in das konventionelle transeuropäische Eisenbahnsystem und das Hochgeschwindigkeitsbahnsystem.	Anhang II beschreibt die Aufteilung des Eisenbahnsystems in strukturelle oder funktionelle Bereiche und beschreibt diese Teilbereiche.	Anhang III definiert die Anforderungen aufgeteilt in allgemeine Anforderungen und besondere Anforderungen an jedes Teilsystem.

Tabelle 44: Übersicht über die Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG

Darüber hinaus wird auch in beiden Fassungen der CSM-Verordnung an mehreren Stellen auf Bestimmungen dieser Richtlinie 2008/57/EG verwiesen. Dieses betrifft unter anderem das Inkrafttreten der 2009 veröffentlichten CSM-Verordnung. Desweiteren sind signifikante Änderungen struktureller Teilsysteme nach der CSM-Verordnung [EUK09] zu betrachten, falls die TSI dies für das Teilsystem erfordern oder dies für eine sichere Integration erforderlich ist. Darüber hinaus wird in [VDB10] darauf hingewiesen, dass eine Neuentwicklung den Maximalfall einer signifikanten Änderung darstellt.

8.1.5 Die Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung

Die transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung [BMV07] ist eine vom deutschen Gesetzgeber erlassene Verordnung, die den deutschen Teil des transeuropäischen

Eisenbahnsystems hinsichtlich der Interoperabilität regelt, die nach der europäischen Eisenbahnsicherheitsrichtlinie 2004/49/EG gefordert wird.

Die Verordnung regelt in Paragraph 6 die Inbetriebnahmegenehmigung von strukturellen Teilsystemen sowie in Paragraph 7 und 8 die Inbetriebnahmegenehmigung von Fahrzeugen zugelassener Bauart sowie von Fahrzeugen mit ausländischer Inbetriebnahmegenehmigung. Der Paragraph 9 regelt die umfangreiche Umrüstung und Erneuerung von Teilsystemen. Dabei ist festgeschrieben, dass „eine umfangreiche Umrüstung oder Erneuerung eines strukturellen Teilsystems, die über den Austausch von Instandhaltungsarbeiten hinausgeht, [...] einer Inbetriebnahmegenehmigung nach Paragraph 6 (bedarf), die auf Antrag des Betreibers des strukturellen Teilsystems von der Sicherheitsbehörde erteilt wird“.

Teilsystem Infrastruktur (Anlage 3 Teil A) u.a.:	Teilsystem Energie (Anlage 3 Teil B) u.a.:	Teilsystem ZVS (Anlage 3 Teil C) u.a.:	Teilsystem Fahrzeug (Anlage 3 Teil D) u.a.:
Änderung an Gleisen, wenn mehr als 400m Gleis oder mehr als zwei Weichen betroffen sind	Maßnahmen an Oberleitungsanlagen, die die Länge von einer Nachspannlänge überschreiten	Falls durch Maßnahmen am Teilsystem ZVS Änderungen an Projektierungs- und Systemdaten an anderen Teilsystemen erforderlich werden	Falls grundsätzliche Bedingungen für die Anwendung der vereinfachten Messverfahren überschritten werden
Erneuerung an Brücken, Überbauten oder Widerlagern	Änderung an Bahnstromversorgungsanlagen, bei denen die Versorgungsart, die Spannung, die Frequenz oder die Schutzfunktion geändert wird	Funktionale Änderungen an Strecken- oder Bahnhofssicherungsanlagen falls u.a. Risikoakzeptanz-grenzwerte einer genehmigten Risikoanalyse überschritten werden	Vmax-Erhöhung um 10% aber wenigstens 10 km/h
Erhöhung der Geschwindigkeit um 10%	oder die Leistung um mehr als 35% gesteigert wird		Änderung des Fahrzeuggesamtgewichts um mehr als 20%
Änderung an der Bahnübergangssicherung			Änderung der Konzepte für u.a. Notausstieg und Rettung, Brandschutz und Bremse
Maßnahmen mit Projekt- oder Baukosten unter 0,4 Mio. Euro gelten als keine umfangreiche Änderung			
Maßnahmen mit Projekt- oder Baukosten über 1,0 Mio. Euro gelten als umfangreiche Änderung			

Tabelle 45: Wesentliche Änderungen nach TEIV

Was unter einer umfangreichen Änderung zu verstehen ist, ist in der Anlage 3 der Verordnung festgehalten. Eine Übersicht über diese Kriterien unterteilt nach den verschiedenen Teilsystemen ist in Tabelle 45 dargestellt. Darüber hinaus geben Projekt- und Baukosten unter 0,4 Millionen Euro einen Hinweis darauf, dass es sich um keine umfangreiche Änderung handelt. Projekt- und Baukosten über 1,0 Millionen Euro deuten hingegen auf eine umfangreiche Änderung hin. In [KUN11] wird in diesem Zusammenhang beschrieben, dass Baugenehmigungen sowie Bauartgenehmigungen signifikante Änderungen darstellen, wenn diese umfangreich und leistungssteigernd sind.

8.1.6 Sicherheitsbescheinigung und Sicherheitsgenehmigung

Die Eisenbahnsicherheitsrichtlinie schreibt vor, dass die Eisenbahnunternehmen für die Nutzung der Eisenbahninfrastruktur eine Sicherheitsbescheinigung benötigen. Diese Sicherheitsbescheinigung umfasst im Wesentlichen zwei Teile, Teil A und Teil B. In Teil A wird bescheinigt, dass das Unternehmen über ein SMS nach den in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Vorschriften verfügt. In Teil B ist niedergelegt, dass die Maßnahmen des Eisenbahnunternehmens zugelassen sind, die getroffen wurden, um den nationalen Anforderungen gerecht zu werden und einen sicheren Verkehrsbetrieb zu gewährleisten. Diese Bescheinigung wird von den nationalen Sicherheitsbehörden erteilt und muss auf Antrag der Eisenbahnunternehmen spätestens alle fünf Jahre erneuert werden. Sollte die Art oder der Umfang des Betriebes sich wesentlich ändern, erfordert dies abhängig von der Art der Änderung eine teilweise oder vollständige Erneuerung der Bescheinigung. Die genaue

Form der Sicherheitsbescheinigung mit seinen erforderlichen Teilen ist in der Verordnung Nummer 653/2007 geregelt. Darüber hinaus enthält die Verordnung Nummer 1158/2010 eine Methode für die Konformitätsbewertung hinsichtlich der Erteilung von Sicherheitsbescheinigungen und die Anforderungen, die daran geknüpft werden. Die Verfahren und Kriterien für diesen Zweck sind in den Anhängen der genannten Verordnung [EUK10] beschrieben.

Die Fahrwegbetreiber benötigen im Gegensatz zu den Eisenbahnunternehmen eine Sicherheitsgenehmigung nach Artikel 11 der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie. Diese umfasst analog zu der Sicherheitsbescheinigung zwei Teile. Zum einen ist dies eine Genehmigung über die Zulassung des SMS und zum anderen eine Genehmigung über die zugelassenen Vorkehrungen, die für die Sicherstellung eines sicheren Betriebs getroffen wurden. Ein besonderes Augenmerk ist bei den Fahrwegbetreibern auf die Instandhaltung der vorhandenen Infrastruktur gelegt. Die europäische Verordnung Nr. 1169/2010 regelt in Bezug auf die Sicherheitsgenehmigung die Anforderungen und Bewertungsmethoden, anhand derer die nationalen Sicherheitsbehörden EIUs Sicherheitsgenehmigungen ausstellen. Analog zu der Verordnung 1158/2010 für die Sicherheitsbescheinigungen beschreibt diese Verordnung [EUK10²] die Kriterien und Grundsätze für die Erteilung von Sicherheitsgenehmigungen. Darüber hinaus wird im Verfahren der ÖBB die Signifikanz einer Änderung an diese Sicherheitsbescheinigungen sowie Sicherheitsgenehmigungen geknüpft. In [KUN11] wird darauf hingewiesen, dass eine signifikante Änderung im Fall der Änderung der Sicherheitsbescheinigung sowie der Änderung der Sicherheitsgenehmigung vorliegt.

8.1.7 CSM on Supervision und CSM on Monitoring

Im vorherigen Abschnitt wurde die Erteilung von Sicherheitsbescheinigungen sowie Sicherheitsgenehmigungen durch die nationalen Sicherheitsbehörden beschrieben. Dabei wurde erläutert, dass zwei Verordnungen die genauen Anforderungen für die Erteilung dieser beiden Dokumente liefern. Die europäische Kommission hat vor diesem Hintergrund im November 2012 die Verordnung Nr. 1077/2012 veröffentlicht, die Regelungen einführen soll, „anhand derer geprüft werden kann, ob die im Antrag auf Erteilung einer Sicherheitsbescheinigung oder Sicherheitsgenehmigung genannten Ergebnisse im Betrieb tatsächlich erbracht werden und ob alle geltenden Anforderungen zu jedem Zeitpunkt erfüllt werden“. Der Gegenstand dieser Verordnung [EUK12] sind gemeinsame Sicherheitsmethoden zur Überwachung des Sicherheitsniveaus (CSM on Supervision) bei EVUs sowie EIUs, ob diese „mit Hilfe eines Sicherheitsmanagementsystems alle mit ihren Tätigkeiten verbundenen Risiken [...] beherrschen“. Die durch die nationalen Aufsichtsbehörden zu leistenden Überwachungstätigkeiten sind im Anhang dieses Dokuments beschrieben.

Im Zusammenhang mit den Sicherheitsbescheinigungen und Sicherheitsgenehmigungen spielt die Verordnung Nummer 1078/2012 eine weitere zentrale Rolle. Diese beschreibt die Verantwortung „für Eisenbahnunternehmen und Fahrwegbetreiber, denen eine Sicherheitsbescheinigung oder Sicherheitsgenehmigung erteilt wurde, und die für die Instandhaltung zuständigen Stellen“. Dieses soll nach [EUK12²] mit einer gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Kontrolle, der „CSM on Monitoring“, der „korrekten Anwendung und der Effektivität aller Prozesse und Verfahren im Managementsystem einschließlich der

technischen, betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen zur Risikokontrolle“ geschehen. Ferner soll die „korrekte Anwendung des SMS insgesamt und hinsichtlich der Erreichung der erwarteten Ergebnisse“ überprüft werden. Darüber hinaus sollen Abweichungen hinsichtlich der beiden genannten Punkte mittels geeigneter Verfahren erkannt und korrigiert werden. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Bereiche gelegt werden, „in denen die größten Risiken bestehen und die bei ineffektiver Kontrolle zu nachteiligen Auswirkungen für die Sicherheit führen könnten“. Im Anhang der Verordnung ist der grundlegende Prozess für das geforderte Kontrollverfahren beschrieben und als Diagramm dargestellt. Das Verfahren besitzt einen repetitiven und iterativen Charakter und „stützt sich auf sämtliche im Managementsystem vorgesehenen Prozesse und Verfahren, unter anderem die technischen, betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen zur Risikokontrolle“. Das im Anhang beschriebene Kontrollverfahren soll dabei diese Maßnahmen zur Risikokontrolle sowie alle beteiligten Prozesse und Verfahren innerhalb des SMS überwachen. Dafür soll zunächst das Vorgehen für die Überwachung dieser Risikokontrollmaßnahmen und der beteiligten Prozesse und Verfahren definiert werden. Dies schließt eine Definition aussagekräftiger Indikatoren mit ein, anhand derer Aussagen über die Leistungsfähigkeit und die Erreichung beziehungsweise Verfehlung von definierten Ergebnissen getroffen werden können. Nach der Sammlung erforderlicher Informationen soll eine Analyse und Bewertung dieser Informationen stattfinden. Diese Analyse und Bewertung soll hinsichtlich der Fragestellung geschehen, ob die Risikokontrollmaßnahmen sowie alle beteiligten Prozesse und Verfahren korrekt angewendet werden und zu den erwarteten Ergebnissen führen. Gleichzeitig wird auch das SMS untersucht, ob es korrekt angewendet wird und ob es wiederum die zu erwartenden Ergebnisse liefert. Alle festgestellten Abweichungen sollen analysiert und bewertet werden. Werden die gefundenen Nichtübereinstimmungen als akzeptabel eingestuft, wird mit dem Prozess der Sammlung von Informationen jeweils von Neuem begonnen. Werden hingegen Nichtübereinstimmungen gefunden, die nicht akzeptabel sind, muss ein Aktionsplan entworfen und implementiert werden. Dieser Aktionsplan soll dafür sorgen, dass Risikokontrollmaßnahmen sowie beteiligte Methoden und Prozesse korrekt umgesetzt, verbessert oder neu implementiert werden. Anschließend sind die Maßnahmen des Aktionsplans hinsichtlich ihrer Effektivität zu bewerten. Nach der Implementierung eines solchen Aktionsplans soll nicht einfach mit der Sammlung und Analyse von Informationen fortgefahren werden. Vielmehr soll der gesamte Kontrollprozess nach [EUK12²] wieder neu begonnen und dabei geprüft werden, ob die Implementierung des Aktionsplans Auswirkungen auf die bestehenden Prozesse sowie die Ausgangsbedingungen hat.

8.2 Anhang des Kapitels 4

8.2.1 Anhang zum Verfahren Safety Scanning

8.2.1.1 Übersicht über die Herkunft der Fundamentals

Die Tabelle 46 stellt die Herkunft der Fundamentals dar, die in [ECB11] ausführlich beschrieben sind.

Safety Architecture and Technology	Transparency	Vorschriften des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO) Vorschriften der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) Vorschriften der Nuclear Regulatory Commission (NRC)
	Redundancy	Vorschriften der Federal Aviation Administration (FAA) Vorschriften des United States Department of Defense (DOD) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Interdependence	Vorschriften des Bundesamts für Strahlenschutz (BFS) Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Functionality	Vorschriften der Internationale Beratergruppe für nukleare Sicherheit (INSAG) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Integrity	Vorschriften der International Electrotechnical Commission (IEC) zu RAMS im Bahnwesen Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Maintainability	Vorschriften des American Petroleum Institute (API) Vorschriften des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) zum Reliability Management Vorschriften des International Electrotechnical Commission (IEC) zur Risikoanalyse technischer Systeme
Operational Safety Aspects	Procedures	Vorschriften der European Commission (EC) zu Lizenzen für Air Traffic Controller Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR)
	Competence	Vorschriften der Western European Nuclear Regulator Association (WENRA) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO)
	HMI	Vorschriften der Federal Aviation Administration (FAA) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO)
	Operating Environment	Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Organisation	Vorschriften der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) zur Kernsicherheit Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Communication	Vorschriften der European Commission (EC) zu Lizenzen für Air Traffic Controller International Atomic Energy Agency (IAEA) International Civil Aviation Organization (ICAO)
	Reliability	Vorschriften der Nuclear Regulatory Commission (NRC) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)
Safety Management	Understanding and Openness	Vorschriften des Directorate-General for Transport and Energy (DGTREN) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO)
	Completeness and Freedom from Biases	Vorschriften der International Standardization Organization (ISO) ISO 60300 Dependability Management Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR) Vorschriften des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Responsibility and Practicability	Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Detectability and Feedback	Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften der Directorate-General for Transport and Energy (DGTREN) Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR)
	Responsiveness and Learning	Vorschriften der Reaktorsicherheitskommission (RSK) vom BMU Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften des Bundesamts für Strahlenschutz (BFS)
Safety Regulations	Responsibility for Safety	Vorschriften des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Vorschriften der International Standardization Organization (ISO) aus der ISO 9001 Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO) Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)
	Ensure Safety Standards	Vorschriften der European Commission (EC) zur Haftung bei fehlerhaften Produkten Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO)
	Independent Oversight	Vorschriften aus der EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR) Vorschriften der International Civil Aviation Organization (ICAO) Vorschriften der European Commission (EC) zur Sicherheitsaufsicht im Air Traffic Management Vorschriften der International Atomic Energy Agency (IAEA)

Tabelle 46: Herkunft der Fundamentals des „Safety Scannings“

8.2.1.2 Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsmanagement

Die Tabelle 47 stellt die Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsmanagement dar, die sich seit der Veröffentlichung des Dokuments [STR07] im Gegensatz zu den anderen Bereichen geändert hat.

Bereich Sicherheitsmanagement				
Grundsatz	Bewertung der Antwort			Gewichtung des Grundsatzes
	Nein	Möglich	Ja	
Richtliniensetzung	-2	+1	+2	Hart (2,0)
Planung	-2	0	+1	Weich (0,5)
Ausführung	+2	0	-2	Hart (2,0)
Sicherung	-2	+1	+2	Hart (2,0)
Förderung	-1	0	+1	Gemischt (1,0)

Tabelle 47: Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsmanagement

8.2.1.3 Das grundlegende Systemmodell im Safety Scanning

Die grundlegende Annahme des Modells, welches dem „Safety Scanning“ zugrunde liegt und in Abbildung 22 dargestellt wird, ist, dass die technisch sichere Funktion eines Systems ein Resultat aus der Sicherheitsfähigkeit des Systems und dem zusätzlichen Einfluss der Organisation und des Managements auf dieses System und dessen Sicherheit ist. Der Einfluss der Organisation und des Managements auf die sichere Funktion trägt in diesem Modell die Bezeichnung „Safety Management“. Die „Safety Performance“ des Systems ist wiederum unterteilt in zwei Perspektiven. Hierbei handelt es sich zum einen um die Sicherheitsarchitektur (in der Abbildung „Architecture“ und „Technology“), die die technischen Aspekte der Sicherheit beinhaltet. Die zweite Perspektive ist der betriebliche Aspekt der Sicherheit, der im Verfahren des „Safety Scannings“ die Bezeichnung betriebliche Sicherheit (in der Abbildung „Operational“) trägt. Alle Fundamentals sind jeweils einem dieser drei Perspektiven Sicherheitsmanagement, Sicherheitsarchitektur oder betriebliche Sicherheit zugeordnet. Gleichzeitig finden Einflüsse durch neue oder geänderte Vorschriften sowie durch die existierenden Rahmenbedingungen (in der Abbildung „Regulations and Framework“) Berücksichtigung in diesem Modell. Diese Perspektive trägt nicht unmittelbar zu der sicheren Funktion des Systems bei, hat aber einen direkten Einfluss auf die drei anderen Perspektiven Sicherheitsmanagement, Sicherheitsarchitektur und betriebliche Sicherheit sowie ihre Fundamentals und repräsentiert die rechtliche Grundlage für deren Zusammenspiel.

Das hier beschriebene Modell mit den wesentlichen Teilen Sicherheitsarchitektur, betriebliche Sicherheit sowie Sicherheitsmanagement lässt sich analog in den Vorschriften der Europäischen Agentur für Flugsicherheit finden. Darüber hinaus orientiert sich auch die CENELEC-Norm EN 50129 für Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme in Bahnanwendungen in dem Kapitel „Anforderungen an die wesentlichen Bestandteile eines Sicherheitsnachweises“ an einer ähnlichen Aufteilung. Hier werden als die wesentlichen drei Bestandteile der Nachweis eines Qualitätsmanagements, der Nachweis eines Sicherheitsmanagements sowie der Nachweis der funktionalen und technischen Sicherheit gefordert. Das Qualitätsmanagement orientiert sich dabei am

Produktlebenszyklus und dem V-Modell der EN 50126 (vgl. Abschnitt 2.2.1) und überwacht dabei auch die organisatorische Struktur des Unternehmens sowie die Organisation und Planung der Qualitätssicherungsmaßnahmen. Dem Sicherheitsmanagementprozess obliegt die Kontrolle der Anforderungen des RAMS-Prozesses der EN 50126 für das betreffende System. Der Nachweis der funktionalen und technischen Sicherheit des Systems soll mit Hilfe eines technischen Sicherheitsberichts erfolgen, dessen wesentliche Teile in der EN 50128 festgehalten sind. Auch die CSM-Vorschriften nehmen in der Unterscheidung von technischen, betrieblichen und organisatorischen Änderungen einen Bezug auf die im „Safety Scanning“ gewählte Einteilung (vgl. Abschnitt 3.1).

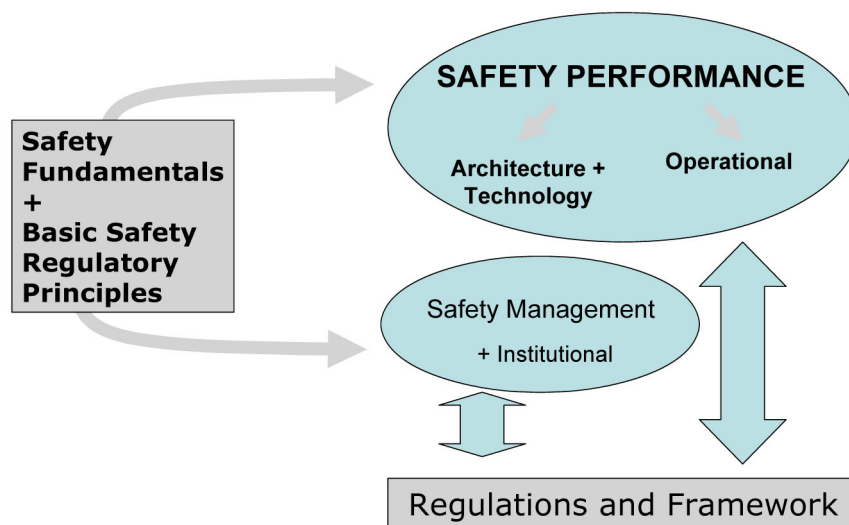


Abbildung 22: Sicherheitsmodell eines technischen Systems. Siehe [ECA11²]

Für jede der drei Sichtweisen Sicherheitsarchitektur, betriebliche Sicherheit und Sicherheitsmanagement existiert jeweils ein Modell, in der die Fundamentals dieses Bereichs zueinander in Beziehung gestellt sind. Die Modelle geben Auskunft darüber, welchen Einfluss die Fundamentals auf die Sicherheit des Systems besitzen.

8.2.2 Anhang zum Verfahren in der Kerntechnik

8.2.2.1 Die zehn grundlegenden Sicherheitsgrundsätze der IAEA

Nr.	Name	Beschreibung
1	Verantwortung für Sicherheit	Die Person oder Organisation, die verantwortlich für Strahlenrisiken ist trägt auch die Hauptverantwortung für die Sicherheit.
2	Rolle der Regierung	Es muss ein rechtlicher und behördlich überwachter Rahmen für Sicherheit geschaffen und unterhalten werden.
3	Führung und Management für Sicherheit	Es muss ein wirkungsvolles Managementsystem in der Organisation vorliegen, dass Sicherheitsfragen und anforderungen berücksichtigt werden
4	Rechtfertigung von kerntechnischen Anlagen und Handlungen	Der Einsatz von kerntechnischen Anlagen muss einen Vorteil gegenüber den immanenten Risiken der Kernenergie bieten.
5	Verbesserung des Schutzes	Der Schutz vor Gefährungen der Kernenergie muss soweit optimiert werden, wie es vernünftigerweise möglich ist.
6	Reduzierung der Risiken für Individuen	Es müssen Maßnahmen getroffen werden, welche sicherstellen, dass kein Individuen ein inakzeptables Gefährungsrisiko tragen muss.
7	Schutz der aktuellen und zukünftigen Generationen	Gegenwärtige und zukünftige Individuen und die Umwelt müssen vor Strahlungsrisiken geschützt werden.
8	Verhinderung von Unfällen	Es müssen alle praktikablen Anstrengungen übernommen werden, um Nuklear- und Strahlungsunfälle zu verhindern oder die Möglichkeit dafür
9	Gefasstsein auf Notfälle und Handlungsbereitschaft	Es müssen Vorkehrungen getroffen sein, auf Notfälle gefasst zu sein und bei Vorfällen umgehend handeln zu können.
10	Schützende Handlungen zur Reduzierung von Strahlungsrisiken	Es müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden, um existierende oder bisher unregulierte Strahlungsrisiken zu reduzieren.

Tabelle 48: Die zehn grundlegenden Sicherheitsgrundsätze der IAEA

Anhand des grundlegenden Sicherheitsziels, Menschen und Umwelt vor den schädlichen Einflüssen ionisierender Strahlung zu schützen, und der zehn Sicherheitsgrundsätze aus Tabelle 48 hat die IAEA in [IAEA12] spezielle Sicherheitsanforderungen definiert. Diese 82 Sicherheitsanforderungen sind dabei in vier Bereiche unterteilt. Diese vier Bereiche sind zum einen der Bereich der grundlegenden Anforderungen an die Zuständigkeiten des Sicherheitsmanagements im Anlagendesign. Der zweite Bereich umfasst die technischen Anforderungen und grundlegenden sicherheitstechnischen Designkriterien. Im dritten Bereich sind die Anforderungen an das grundlegende Anlagendesign enthalten, die die grundlegenden sicherheitstechnischen Designkriterien aus dem zweiten Bereich ergänzen, damit die Sicherheitsziele eingehalten und die grundlegenden Sicherheitsprinzipien erfüllt werden. Im vierten Bereich sind schließlich Anforderungen für das Design von speziellen Anlagen sowie für die wesentlichen Teile dieser Anlagen definiert.

8.2.2.2 Vorgehen der IAEA im Umgang mit Änderungen und Modifikationen

Wie bei der WENRA existiert auch bei der IAEA ein Vorgehen in Form eines Sicherheitsguides für den Umgang mit Änderungen und Modifikationen. In dem Dokument [IAE01] wird hierbei zwischen Modifikationen an Anlagen und Modifikationen an Managementsystemen unterschieden. Zusätzlich wird auf temporäre Modifikationen Bezug genommen. Bei den Modifikationen an Anlagen wird zwischen technischen Modifikationen an „Strukturen, Systemen und Komponenten“ (SSC) oder Softwareprozessen und Modifikationen an Grenzen und Zuständen des Betriebs unterschieden. Als dritte Form von Modifikationen an technischen Anlagen existieren außerdem noch die Modifikationen an betrieblichen Verfahren. Die Modifikationen an Managementsystemen umfassen alle organisatorischen Änderungen an Strukturen oder Ressourcen sowie Modifikationen an

betrieblichen Managementprogrammen und Modifikationen an Instrumenten und Prozessen für die erneute Bewertung der Sicherheit. Darüber hinaus wird in [IAEA01] ein grundlegender Prozess für die Durchführung von Änderungen beschrieben.

	Charakterisierung einer solchen Modifikation	Resultierende Maßnahmen
Kategorie 1	Modifikationen dieser Kategorie besitzen entweder einen signifikanten Einfluss auf die Strahlungsrisiken oder sie verändern Prinzipien oder Ergebnisse auf denen das Design und die Zulassung der betroffenen Anlage beruhen. Insbesondere gilt dies, wenn Auslegungsstörfälle oder solche technischen Umsetzungen betroffen sind, die Änderungen in den Betriebsregeln erforderlich werden lassen. Dies gilt auch für Änderungen an den technischen Umsetzungen, die für die Erreichung von Sicherheitszielen vorhanden sind.	Modifikationen der Kategorie 1 bedürfen einer sorgfältigen Analyse und benötigen gegebenenfalls vorherige Erteilung einer Erlaubnis durch die Aufsichtsbehörden.
Kategorie 2	Modifikationen dieser Kategorie betreffen Änderungen in sicherheitsrelevanten Teilen oder Systemen sowie in betrieblichen Verfahrensweisen und benötigen daher in der Regel auch Änderungen an den Berichten der Sicherheitsanalyse oder den Zulassungsdokumenten. Modifikationen können dann dieser Kategorie zugeordnet werden, wenn sie einen geringen Einfluss auf die Sicherheit besitzen und keine signifikante Veränderung der Prinzipien erforderlich machen, auf denen die Zulassung der Anlage beruht.	In der Designphase von Modifikationen der Kategorie 2 soll geklärt werden, inwiefern negative Effekte wie eine Verschlechterung der Sicherheitseigenschaften oder die Möglichkeit der Freisetzung radioaktiven Materials bei der Umsetzung der Modifikation zu erwarten sind. Modifikationen der Kategorie 2 sollen eine Absprache mit den Aufsichtsbehörden nach einem festgelegten Verfahren notwendig machen.
Kategorie 3	Die Modifikation besitzt keinen Einfluss auf die Sicherheit. Die Teile, an denen Modifikationen vorgenommen werden, sind als nicht sicherheitsrelevant klassifiziert und sind auch nicht Teil der Lizenzunterlagen. Bei einer fehlerhaften Implementierung der Änderung oder bei erheblichen Mängeln im Design der Änderung kann dieses nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Risiken führen.	Modifikationen der Kategorie 3 sollten nur, falls dieses in irgendeiner Form vorgeschrieben ist, den Aufsichtsbehörden gemeldet werden müssen.

Tabelle 49: Kategorien von Modifikationen der IAEA

Für die Modifikationen an technischen Anlagen ist eine Kategorisierung der Sicherheitssignifikanz anhand von drei Kategorien beschrieben. Die drei Kategorien umfassen jeweils die Kriterien für die Einordnung in diese Kategorie sowie die Beschreibung der daraus resultierenden Folgen und Maßnahmen. In Tabelle 49 sind diese drei Kategorien von Modifikationen dargestellt. Die Zuordnung der Modifikation zu einer der drei Kategorien soll innerhalb einer Sicherheitsbewertung erfolgen, in der alle Einflüsse auf die Sicherheit untersucht werden sowie die Überprüfung erfolgt, ob die geplanten Modifikationen sich innerhalb der Vorschriften für das Design und den Betrieb der Anlage bewegen. Abhängig von der Sicherheitsbewertung und der Einordnung der Modifikationen in eine der drei Kategorien ist daraufhin gegebenenfalls eine weitergehende umfassende Sicherheitsbewertung erforderlich. Modifikationen an Grenzen und Zuständen des Betriebs sind darüber hinaus der Kategorie 1 der Tabelle 49 zuzuordnen. Sind temporäre Modifikationen an solchen betrieblichen Grenzen oder Zuständen beispielsweise für Tests erforderlich, sind die Auswirkungen dieser temporären Änderung zu untersuchen. Modifikationen an betriebliche Verfahren sind mittels eines Verfahrens zu bewerten, das sich an dem der Tabelle 49 orientiert. Eine detaillierte Sicherheitsbewertung ist für alle Modifikationen der Kategorien 1 und 2 erforderlich. Für Modifikationen an computerbasierten Systemen, die Änderung an Hardware oder Software betreffen, soll ein Prozess zur Anwendung kommen, der die betroffenen Elemente und seine Auswirkungen prüft. Dabei darf ausschließlich die Hardware beziehungsweise Software in die Anlage eingebaut werden, die diesen Prozess durchlaufen hat. Ein besonderes Augenmerk soll auch auf die möglichen Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen Änderungen gelegt werden. Dieses betrifft bei Änderungen an den SSCs der Anlage vor allem eventuell notwendige Updates der betroffenen betrieblichen Unterlagen und Verfahren. Dasselbe gilt für Änderungen an Grenzen und Zuständen des Betriebs.

Neben den Änderungen an den technischen Anlagen stellen die Modifikationen an Managementsystemen die zweite Gruppe von Modifikationen dar. Die Unternehmen sollen ein effektives System für das Management von Sicherheit vorhalten, welches über eine geeignete organisatorische Struktur verfügt. Diese organisatorische Struktur mit der Anzahl der Mitarbeiter ist den Aufsichtsbehörden mitzuteilen. Änderungen an dieser Organisation oder an der Anzahl der Mitarbeiter müssen auf ihre Auswirkung auf den sicheren Betrieb untersucht werden. Gleichzeitig sollen häufige Änderungen in diesem Bereich vermieden werden. Ein besonderes Augenmerk muss außerdem auf die Schulung der Mitarbeiter gelegt werden, damit das Management und die Mitarbeiter in der Lage sind, neue Aufgaben und Verfahren resultierend aus organisatorischen Änderungen zu verstehen. Damit eng verbunden ist die eindeutige Zuordnung von Zuständigkeiten innerhalb der Organisation. Darüber hinaus sollen Änderungen an Verfahren und Prozessen der Sicherheitsbewertung sowie Änderungen an Programmen für das Management des Betriebs auf ihren Einfluss auf die Sicherheit untersucht werden.

8.2.3 Anhang zum COCOMO II-Modell

8.2.3.1 Transformation der Formel zur Berechnung des Projektaufwands

Die Betrachtung der Formel (2) auf Seite 56 zur Berechnung des Projektaufwands in Personenmonaten macht deutlich, dass sich diese Formel mittels Logarithmieren in ein Score-Modell transformieren lässt. In [BRA05] ist beschrieben, wie sich ein generisches Risikomodell ermitteln lässt. Hierbei wird für das Risiko selbst sowie für das Schadenspotential dargestellt, wie dieses anhand von Parametern bestimmt werden kann. Ähnlich wie im COCOMO II-Modell beschreibt eine Formel unter anderem den Zusammenhang zwischen dem Schadenspotential und den Parametern. Anhand einer Transformation mittels des Logarithmus zur Basis b lassen sich somit sowohl der Ausdruck für das Risiko sowie auch die weiterführenden Ausdrücke wie der erwähnte Ausdruck zur Berechnung des Schadenspotentials logarithmieren.

Die Formel (2) lässt sich folglich über den Logarithmus zur Basis b in den Ausdruck aus Formel (14) transformieren.

$$(14) \quad \log_b(PM) = \log_b A + \log_b(Size^E) + \log_b(\prod_{i=1}^n EM_i)$$

$$\log_b(PM) = \log_b A + E * \log_b Size + \sum_{i=1}^n (\log_b EM_i)$$

Die Basis b ist so zu wählen, dass einerseits die zulässigen Rundungsfehler berücksichtigt werden und andererseits die Anforderung an die Genauigkeit erfüllt sind. In [BRA05] ist dies anschaulich für den Parameter Geschwindigkeit vorgenommen. Somit wird jeder Einflussfaktor EM_i aus Formel (14) auf einer ganzzahligen Skala abgebildet. Konstanten spielen in diesem transformierten Modell keine Rolle, da die Skalen bezüglich ihres Nullpunktes beliebig verschoben werden können. Durch diesen Ansatz werden die ursprünglichen Faktoren aus Formel (2) als Summe in Formel (14) ausgedrückt. Durch diese Betrachtung ist somit gezeigt, wie ein solches Score-Modell mit einem Ausdruck in Zusammenhang gebracht werden kann, der über Faktoren zur Berechnung verfügt.

8.2.3.2 Die Post-Architecture-Kostentreiber

Neben den im Hauptteil beschriebenen Kostentreibern der Produktfaktoren existieren drei weitere Gruppen von Kostentreibern. Dies ist zum einen die Gruppe der Plattformfaktoren, die über drei unterschiedliche Kostentreiber verfügen. Diese Plattformfaktoren betrachten die Anforderungen des zu betrachtenden Systems an die vorhandene Infrastruktur aus Hardware und Software, auf die das System zur Durchführung seiner Aufgabe angewiesen ist. Die Tabelle 50 zeigt diese Kostentreiber im Bereich der Plattformfaktoren.

Kostentreiber	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Execution Time Constraint	TIME	Dieser Kostentreiber betrachtet die Ausführungszeit, die von dem System von der maximal vorhandenen Ausführungszeit für die Ausführung der Operationen benötigt wird.	1,00 - 1,63	1,63
Main Storage Constraint	STOR	Dieser Kostentreiber betrachtet die Menge an Hauptspeicher, die von dem System von dem maximal vorhandenen Hauptspeicher für die Ausführung der Operationen benötigt wird.	1,00 - 1,46	1,46
Platform Volatility	PVOL	Dieser Kostentreiber betrachtet, in welchem Zeitraum Änderungen an der Plattform vorgenommen werden, auf die das zu betrachtende System bei der Ausführung seiner Aufgaben angewiesen ist.	0,87 - 1,30	1,49

Tabelle 50: Kostentreiber im Bereich der Plattformfaktoren

Darüber hinaus existiert der Bereich der Personalfaktoren. Die Personalfaktoren haben nach dem Umfang des Projekts den größten Einfluss auf die Höhe des erforderlichen Entwicklungsaufwands. Sie betrachten nicht die individuellen Fähigkeiten des vorhandenen Personals, sondern die vorhandene Anwendungserfahrung des Entwicklerteams. Die Kostentreiber im Bereich der Personalfaktoren sind in Tabelle 51 dargestellt.

Kostentreiber	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Analyst Capability	ACAP	Dieser Kostentreiber betrachtet die Fähigkeiten wie Analyse- und Designfähigkeiten sowie Softskills wie Kommunikations- und Teamfähigkeit von Analysten, die bei der Entwicklung für Systemanforderungen und übergeordnete sowie detaillierte Designaufgaben zuständig sind. Die Erfahrung der Analysten wird in diesem Kostentreiber nicht betrachtet.	0,71 - 1,42	2,00
Programmer Capability	PCAP	Dieser Kostentreiber betrachtet die Fähigkeiten der im Projekt tätigen Programmierer. Hier sind ähnlich zu den Fähigkeiten der Analysten neben den Programmierfähigkeiten Eigenschaften wie Effizienz und Gründlichkeit von Bedeutung. Dasselbe gilt für Kommunikations- und Teamfähigkeit. Die Erfahrung der Programmierer wird in diesem Kostentreiber nicht betrachtet.	0,76 - 1,34	1,76
Personnel Continuity	PCON	Dieser Kostentreiber betrachtet den Grad der Mitarbeiterfluktuation innerhalb des Projekts.	0,81 - 1,29	1,59
Application Experience	APEX	Dieser Kostentreiber betrachtet die vorhandene Anwendungserfahrung des Entwicklerteams bei der Entwicklung des Softwaresystems.	0,81 - 1,22	1,51
Platform Experience	PLEX	Dieser Kostentreiber betrachtet die vorhandene Erfahrung des Entwicklerteams mit der Plattform aus Hard- und Software, auf die das zu entwickelnde System angewiesen ist.	0,85 - 1,19	1,40
Language and Tool Experience	LTEX	Dieser Kostentreiber betrachtet die vorhandene Erfahrung des Entwicklerteams mit der für die Entwicklung des Systems verwendeten Programmiersprachen sowie Tools.	0,84 - 1,20	1,43

Tabelle 51: Kostentreiber im Bereich der Personalfaktoren

Im letzten Bereich sind drei Kostentreiber zusammengefasst, die sich den Projektfaktoren zuordnen lassen. Diese betrachten die Einflüsse auf den Projektaufwand aufgrund des Erfordernisses für besondere Softwaretools, des Standorts des Entwicklerteams sowie des vorhandenen Projektzeitplans auf den Entwicklungsaufwand. Die Kostentreiber im Bereich der Projektfaktoren sind in Tabelle 52 erläutert.

Kostentreiber	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Use of Software Tools	TOOL	Dieser Kostentreiber betrachtet die im Projekt genutzten Softwaretools und über welche Fähigkeiten diese verfügen. Unterschieden wird zwischen simplen Tools zur Programmierung und Tools mit einem unterschiedlichen Grad an weitergehenden Funktionen hinsichtlich des Lebenszyklus des Produkts. Darüber hinaus wird auch die Integration der Tools betrachtet.	0,78 - 1,17	1,50
Multisite Development	SITE	Dieser Kostentreiber betrachtet die räumliche Zusammensetzung des Entwicklerteams. Bei räumlich stark getrennten Teams ist darüber hinaus bedeutend, in welcher Form die notwendige Kommunikation erfolgt und welche Infrastruktur dafür vorhanden ist.	0,86 - 1,22	1,53
Required Development Schedule	SCED	Dieser Kostentreiber betrachtet die zeitlichen Anforderungen an das Projekt, die aus einem vorhandenen Zeitplan resultieren. Schnell fertigzustellende Projekte bedürfen eines besonderen Aufwands, vor allem um Risiken zu entschärfen und die Architektur zu entwickeln. Darüber hinaus ist zu Ende des Projekts ein besonderer Aufwand bei der Überprüfung der Software sowie bei der Dokumentationserstellung erforderlich, da dieses zum Teil parallel geschehen muss. Ausdehnungen des Projektes führen hingegen weder zu einem Mehraufwand noch zu einem geringerem Aufwand, da sich die Einsparungen durch eine geringere Teamgröße dadurch wieder aufheben, dass Aufgaben der Projektverwaltung über einen längeren Zeitraum gepflegt werden müssen.	1,00 - 1,43	1,43

Tabelle 52: Kostentreiber im Bereich der Projektfaktoren

8.2.3.3 Die Early-Design-Kostentreiber

Die Tabelle 53 erläutert die sieben Kostentreiber des Early-Design-Modells und stellt ihren Wertebereich sowie ihre potentielle Wertespanne dar.

Kostentreiber	Abkürzung	Erläuterung	Wertebereich	potentielle Wertespanne
Product Reliability and Complexity	RCPX	Dieser Kostentreiber umfasst die vier Post-Architecture Kostentreiber Software Reliability (RELY), Database size (DATA), Product Complexity (CPLX) sowie Documentation match to life-cycle needs (DOCU).	0,49 - 2,72	5,55
Developed for Reusability	RUSE	Dieser Kostentreiber entspricht dem Post-Architecture Kostentreiber Developed for Reusability (RUSE).	0,95 - 1,24	1,31
Platform Difficulty	PDIF	Dieser Kostentreiber ist eine Zusammenfassung der Kostentreiber Execution time constraint (TIME), Main storage constraint (STOR) and Platform Volatility (PVOL).	0,87 - 2,61	3,00
Personnel Capability	PERS	Dieser Kostentreiber kombiniert die Post-Architecture Kostentreiber Analyst capability (ACAP), Programmer Capability (PCAP) und Personnel continuity (PCON).	0,50 - 2,12	4,24
Personnel Experience	PREX	Dieser Kostentreiber kombiniert die drei Post-Architecture Kostentreiber Application experience (APEX), Language and tool experience (LTEX) sowie Platform experience (PLEX).	0,62 - 1,59	2,56
Facilities	FCIL	Dieser Kostentreiber umfasst die beiden Post-Architecture Kostentreiber Use of software tools (TOOL) und Multisite development (SITE).	0,62 - 1,43	2,31
Required Development Schedule	SCED	Dieser Kostentreiber entspricht dem Post-Architecture Kostentreiber Required Development Schedule (SCED).	1,00 - 1,43	1,43

Tabelle 53: Kostentreiber des Early-Design-Modells

Die Zusammenfassung der Post-Architecture-Kostentreiber im Early-Design-Modell erfolgt in der Form, dass den Kategorien der ursprünglichen Kostentreiber Punktwerte zugeordnet werden. Diese Punktwerte reichen von 1 bis 6, wobei 1 einer Kategorie von „sehr niedrig“ und 6 der Kategorie „extra hoch“ entspricht. Für die Kategorien zwischen diesen beiden Extremen gilt die Zuordnung entsprechend. Die neue Kategorie ergibt sich daraufhin aus der Kombination der beiden Kategorien der ursprünglichen Kostentreiber.

Die Tabelle 54 zeigt diese Zuordnung der Punktwerte zu den Kategorien exemplarisch für den Early-Design-Kostentreiber Facilities (FCIL) und die beiden Kostentreiber TOOL und SITE, aus denen er zusammengesetzt ist. Hieran ist zu erkennen, dass die Post-Architecture-Kostentreiber über bis zu sechs Kategorien und die Early-Design-Kostentreiber durch die zusätzliche Ausprägung „extra niedrig“ über sieben Kategorien verfügen.

	extra niedrig	sehr niedrig	niedrig	nominal	hoch	sehr hoch	extra hoch
TOOL	-	1	2	3	4	5	6
	-	1,17	1,09	1,00	0,90	0,78	n/a
SITE	-	1	2	3	4	5	6
	-	1,22	1,09	1,00	0,93	0,86	0,80
FCIL	2	3	4, 5	6	7, 8	9, 10	11
	1,43	1,30	1,10	1,00	0,87	0,73	0,62

Tabelle 54: Übersicht über die Zusammensetzung des Kostentreibers Facilities (FCIL)

Die Kategorie „extra niedrig“ des Early-Design-Kostentreibers FCIL verfügt über den Punktwert 2 und ist eine Kombination der beiden Kategorien „sehr niedrig“ der Kostentreiber TOOL und SITE, die jeweils über einen Punktwert von 1 verfügen. Der Aufwandsmultiplikator dieser Kategorie „extra niedrig“ besitzt einen Wert von 1,43 und entspricht der Multiplikation der Aufwandsmultiplikatoren von 1,17 und 1,22 der Kostentreiber TOOL und SITE der jeweiligen Kategorie „sehr niedrig“. Die „nominale“ Kategorie der Early-Design-Kostentreiber besitzt jeweils den Punktwert, der sich aus der Addition der nominalen Punktwerte der Kostentreiber ergibt, aus denen er zusammengesetzt ist. Für das Beispiel des Kostentreibers FCIL entspricht dies dem Punktwert von 6, da er aus zwei Post-Architecture-Kostentreibern besteht und dem nominalen Wert dieser Kostentreiber jeweils der Punktwert 3 zugeordnet ist. Der Aufwandsmultiplikator besitzt aufgrund dieser Zusammensetzung den Wert 1,00. Der Punktwert von 6 ermöglicht darüber hinaus auch andere Kombinationen als 3 und 3 („nominal“ mit „nominal“). Beispielsweise würde auch die Kombination der Kategorie „niedrig“ mit dem Punktwert 2 des Kostentreibers TOOL mit der Kategorie „hoch“ mit einem Punktwert von 4 des Kostentreibers SITE einen Gesamtpunktwert von 6 ergeben und in die nominale Kategorie des Early Design Kostentreibers FCIL fallen. Die Kategorie „extra hoch“ des Kostentreiber FCIL entspricht wiederum einer Kombination der beiden höchsten existierenden Kategorien der Kostentreiber TOOL und SITE und besitzt damit einen Punktwert von 11. Der Aufwandsmultiplikator von 0,62 entspricht hierbei wiederum der Multiplikation der jeweiligen Aufwandsmultiplikatoren der Kostentreiber TOOL von 0,78 und SITE von 0,80.

8.2.4 Anhang zum ORR-Verfahren: Diagramm mit Übersicht über die Anwendung

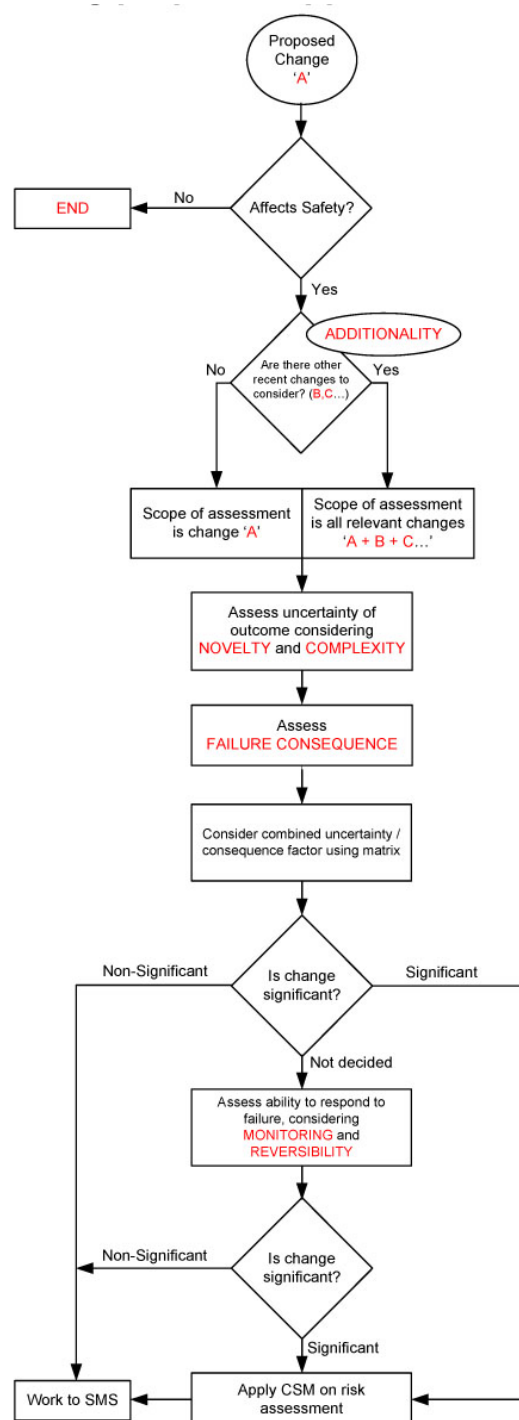


Abbildung 23: Ablaufdiagramm ORR- Verfahren. Siehe [ORR10]

8.2.5 Anhang zum DB-Verfahren: Erläuterung des Punkteschemas

Die grafische Anwendung der Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix des DB-Verfahrens lässt sich wie in [TÜV13] erläutert auf ein Punkteschema reduzieren. Die Zuordnung der Kriterien zu den Punktwerten sollen in den folgenden Tabellen dargestellt werden. Die Beschreibung

der Kriterien und ihrer Kategorien ist in Abschnitt 4.2.6 in Tabelle 21 erläutert. Die Tabelle 55 zeigt die Punktwerte, die in diesem Punkteschema der Kategorie „Folge von Ausfällen“ zugeordnet sind.

Kriterium	Kategorien	Punktwert
Folge von Ausfällen	hoch	4
	mittel	3
	gering	2
	minimal	1

Tabelle 55: Punktwerte für die Kategorien „Folge von Ausfällen“

Die Tabelle 56 zeigt die Punktwerte, die den Kategorien der „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“ zugeordnet sind. Gleichzeitig ist der Tabelle zu entnehmen, welche Punktwerte damit den Kriterien „Innovation“ und „Komplexität“ zugeordnet werden können.

Kriterium		Kategorien	Punktwert
Innovation		hoch	2
		gering	0
Komplexität		hoch	1
		gering	0
Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen	Innovation hoch & Komplexität hoch	hoch	3
	Innovation hoch & Komplexität gering	mittel	2
	Innovation gering & Komplexität hoch	gering	1
	Innovation gering & Komplexität gering	minimal	0

Tabelle 56: Ermittlung der „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“

Die Tabelle 57 zeigt, welchen Punktwerten sich die Verschiebung der Signifikanzlinie zuordnen lässt und welche Rolle dabei die Kriterien „Überwachung“ und „Umkehrbarkeit“ spielen.

Kriterium		Kategorien	Punktwert
Überwachbarkeit		gering	1
		hoch	0
Umkehrbarkeit		nicht umkehrbar	1
		umkehrbar	0
Verschiebung der Signifikanzlinie	Überwachbarkeit gering & Änderung nicht umkehrbar	alle gelben Felder werden rot "signifikant"	2
	Überwachbarkeit hoch & Änderung nicht umkehrbar oder Überwachbarkeit gering & Änderung umkehrbar	oberen gelbe Felder werden rot "signifikant", unteren gelben Felder werden grün "nicht signifikant"	1
	Überwachbarkeit hoch & Änderung umkehrbar	alle gelben Felder werden grün "nicht signifikant"	0

Tabelle 57: Ermittlung der „Verschiebung der Signifikanzlinie“

Addiert man alle Punktwerte der drei Tabellen, so erhält man eine Summe, anhand derer man die Signifikanz der Änderung bestimmen kann. Dabei werden alle Änderungen, die in Summe einen Punktwert von 6 oder größer besitzen, anhand dieses Verfahrens als signifikant eingestuft.

8.3 Anhang des Kapitels 6

8.3.1 Tabelle mit der Übersicht über alle Änderungen

Beispielnummer	Herkunft	Bereich	Kurzbeschreibung	Signifikanz	Signifikanzwert	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
1	NeGSt #1	Technik (LST)	Fehlerbehebung ESTW	nicht signifikant	0	4	0	0	0	0
2	NeGSt #2	Technik (LST)	geänderte Technik ESTW	signifikant	1	4	2	0	0	0
3	NeGSt #3	Technik (LST)	geänderte Funktion ESTW	nicht signifikant	0	4	0	1	0	0
4	NeGSt #4	Technik (LST)	geänderte Funktion ESTW mit RA-Änderung	signifikant	1	4	2	1	0	0
5	NeGSt #5	Technik (LST)	neue Funktion ESTW	signifikant	1	4	2	0	0	0
6	NeGSt #6	Technik (LST)	Fehlerbehebung Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	0	3	0	0	0	0
7	NeGSt #7	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	0	3	0	1	0	0
8	NeGSt #8	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangssicherungsanlage mit RA-Änderung	signifikant	1	3	2	1	0	0
9	NeGSt #9	Technik (LST)	neue Funktion Bahnübergangssicherungsanlage	nicht signifikant	0	3	2	0	0	0
10	NeGSt #10	Technik (LST)	neue Funktion Rangiertechnik (keine Reisenden)	nicht signifikant	0	2	2	0	0	0
11	NeGSt #11	Technik (LST)	neue Funktion PZB	nicht signifikant	0	1	2	1	0	1
12	NeGSt #12	Technik (LST)	geänderte Funktion Bahnübergangs-Fahrzeugschleife	nicht signifikant	0	3	2	0	0	0
13	NeGSt #13	Technik (LST)	geänderte Technik Signale (LED)	signifikant	1	4	2	0	0	0
14	NeGSt #14	Technik (LST)	Schnittstellenänderung im RASTA-Protokoll	nicht signifikant	0	4	0	0	0	0
15	ERA #1	Betrieb	Erhöhung der Verkehrsichte	nicht signifikant	0	2	0	0	1	0
16	ERA #2	Technik	Bahnübergang - Umstellung Telefonanschluss analog auf digital	nicht signifikant	0	3	0	1	0	1
17	ERA #3	Technik	Einsatz GSM-R zur Informationsübertragung	signifikant	1	4	2	1	0	0
18	ERA #4	Betrieb	Ein TFZ ist allein für die Führung des Zuges zuständig	signifikant	1	4	2	1	0	0
19	ERA #5	Organisation	Outsourcing der Wartung- und Instandhaltung eines EILS	signifikant	1	2	2	1	1	1
20	Studienarbeit #1	Organisation	Führungswechsel	nicht signifikant	0	2	0	0	0	0
21	Studienarbeit #3	Organisation	Teilprivatisierung	nicht signifikant	0	2	0	1	0	1
22	Studienarbeit #6	Betrieb	Signalversetzung	nicht signifikant	0	4	0	0	0	0
23	Studienarbeit #7	Technik	Komponententausch	nicht signifikant	0	4	0	0	0	0
24	Studienarbeit #9	Technik	Monitorwechsel	nicht signifikant	0	2	2	0	0	0
25	ESREL-Paper	Technik	Zusammenfassung zweier Stellwerksbereiche	signifikant	1	4	0	1	0	1
26	SBB #1	Technik	Automatisierung von Signalkästen	signifikant	1	4	0	1	0	1
27	SBB #3	Organisation	Übernahme der Verantwortlichkeit durch FOT	signifikant	1	2	2	0	1	1
28	SBB #4	Technik	Bau neuer Streckenelemente	signifikant	1	4	2	1	0	0
29	SBB #5	Technik	Maßnahmen gegen Steinschlag	signifikant	1	4	0	0	1	0
30	SBB #7	Technik	Neuer Caterpillar für Streckenbau	signifikant	1	4	2	0	1	0
31	SBB #8	Betrieb	Einführung neuer Betriebsform für Rangierarbeiten	signifikant	1	4	2	0	0	0
32	SBB #9	Technik	Einführung ETCS Level 2 für neue Hochgeschwindigkeitsstrecke	signifikant	1	4	2	1	0	0
33	SBB #11	Technik	Einführung eines neuen Zugtyps	signifikant	1	4	2	1	0	0

Tabelle 58: Beispielübersicht

8.3.2 Erläuterung der Bewertung der SBB-Beispiele

Im Folgenden soll die Bewertung der Beispiele von Änderungen erfolgen, die in [SHA10] beschrieben sind und in die Datenbasis aufgenommen wurden. Alle Änderungen aus dieser Quelle sind als signifikant durch die SBB eingestuft worden. Jedoch konnte bereits in Abschnitt 6.4.4 gezeigt werden, dass drei Änderungen nicht unter die Definition relevanter Änderungen fallen. Die Bewertung der Beispiele ist in Tabelle 59 dargestellt. Im Weiteren soll die Bewertung der einzelnen Beispiele erläutert werden.

Beispielnummer	Herkunft	Bereich	Kurzbeschreibung	Signifikanz	Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
26	SBB #1	Technik	Automatisierung von Signalkästen	signifikant	4	0	1	0	1
A*	SBB #2	Betrieb	Neuer Betreiber für Infrastruktur, A*						
27	SBB #3	Organisation	Übernahme der Verantwortlichkeit durch FOT	signifikant	2	2	0	1	1
28	SBB #4	Technik	Bau neuer Streckenelemente	signifikant	4	2	1	0	0
29	SBB #5	Technik	Maßnahmen gegen Steinschlag	signifikant	4	0	0	1	0
A*	SBB #6	Organisation	Baumaßnahme in der Nähe zu Hochgeschwindigkeitslinie, A*						
30	SBB #7	Technik	Neuer Caterpillar für Streckenbau	signifikant	4	2	0	1	0
31	SBB #8	Betrieb	Einführung neuer Betriebsform für Rangierarbeiten	signifikant	4	2	0	0	0
32	SBB #9	Technik	Einführung ETCS Level 2 für neue Hochgeschwindigkeitsstrecke	signifikant	4	2	1	0	0
A*	SBB #10	Betrieb	Erhöhung der Streckengeschwindigkeit um 10 Km/h A*						
33	SBB #11	Technik	Einführung eines neuen Zugtyps	signifikant	4	2	1	0	0
Erläuterung A*: Änderung erfüllt nicht die Definition an relevante Änderungen.									

Tabelle 59: Übersicht über die bewerteten SBB-Beispiele

8.3.2.1 SBB-Beispiel Nummer 1

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 für die Bewertung von technischen Änderungen aus Abschnitt 5.4. Da durch die Automatisierung von Signalkästen die Signale direkt betroffen sind, liegt der SIL4 für die Folge von Ausfällen vor. Die Innovation für die Organisation ist gering, da vergleichbare Änderungen laut SBB circa zehnmal pro Jahr durchgeführt werden. Jedoch ist anzumerken, dass die Innovation dann als hoch einzustufen ist, falls die erforderlichen technischen Lösungen in dieser Form zum ersten Mal eingesetzt werden. Die Komplexität ist mit hoch bewertet, da aus der Beschreibung hervorgeht, dass eine Zentralisierung aller Signalboxen erforderlich wird und zudem betriebliche Abläufe angepasst werden müssen. Die Überwachung ist als gering bewertet. Die Umkehrbarkeit ist als gering bewertet, da die Änderung nur mit einem erheblichen Aufwand umzukehren ist. Wie für die Beispiele von Änderungen in dem Bereich LST aus [TÜV13] kann von dem Vorhandensein einer Rückfallebene ausgegangen werden. Da jedoch auch betriebliche Abläufe betroffen sind und geändert werden müssen, ist die Umkehrbarkeit als gering eingestuft.

8.3.2.2 SBB-Beispiel Nummer 2

Diese Änderung erfüllt nicht die Anforderung an die Definition relevanter Änderungen aus Tabelle 23 in Abschnitt 5.1.1. Die Erläuterung hierfür ist im Hauptteil der Arbeit in Abschnitt 6.4.4 dargestellt.

8.3.2.3 SBB-Beispiel Nummer 3

Die Bewertung dieses Beispiels erfolgt anhand der Tabelle 25 aus Abschnitt 5.4. Die Ausfallfolgen werden mit „unbedeutend“ bis „marginal“ bewertet. Die Innovation wird mit hoch bewertet, da keine Erfahrung mit der Übernahme der Verantwortlichkeit durch das Federal Office of Transport besteht. Die Komplexität wird als gering bewertet. Die

Überwachung wird als gering bewertet, da die Änderung durch die durchführende Organisation vermutlich schwierig in allen Aspekten zu überblicken ist. Die Änderung ist zudem nur mit hohem zeitlichen Aufwand wieder umzukehren.

8.3.2.4 SBB-Beispiel Nummer 4

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 für die Bewertung von technischen Änderungen aus Abschnitt 5.4. Es werden neue Streckenelemente der Zugsicherungstechnik gebaut, so dass die Ausfallfolgen in die höchste Kategorie eingestuft werden. Die Innovation ist hoch, da eine Vielzahl von neuen Funktionen erforderlich wird. Darüber hinaus wird die Änderung durch die SBB als komplex eingestuft. Die Überwachbarkeit dieser Änderung ist durch vorhandene technische Lösungen der LST gegeben. Durch die vorhandene Rückfallebene wird die Umkehrbarkeit als hoch bewertet.

8.3.2.5 SBB-Beispiel Nummer 5

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 für die Bewertung von technischen Änderungen aus Abschnitt 5.4. Die Ausfallfolgen werden als „katastrophal“ eingestuft, da Geröll und größere Felsbrocken auf der Strecke einen Zug zum Entgleisen bringen könnte. Die Innovation und Komplexität wird als gering bewertet, da Erfahrung mit den erforderlichen Maßnahmen gegen Steinschlag besteht.

8.3.2.6 SBB-Beispiel Nummer 6

Diese Änderung erfüllt nicht die Anforderung an die Definition relevanter Änderungen aus Tabelle 23 in Abschnitt 5.1.1. Die Erläuterung hierfür ist im Hauptteil der Arbeit in Abschnitt 6.4.4 dargestellt.

8.3.2.7 SBB-Beispiel Nummer 7

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 aus Abschnitt 5.4. Es werden neue Raupenfahrzeuge für den Streckenbau eingesetzt. Die Folge von Ausfällen wird als „katastrophal“ bewertet, da Bauarbeiten in unmittelbarer Streckennähe die Möglichkeit für Kollisionen der schweren Baufahrzeuge mit vorbeifahrenden Zügen bieten. Gleichzeitig kann auch das Baustellenpersonal direkt gefährdet werden. Die Innovation wird als hoch eingestuft, da das Personal keine Erfahrung mit den neuen Baufahrzeugen besitzt. Die Komplexität ist gering. Die Überwachbarkeit für diese Änderung ist als gering bewertet, da ein Eingreifen im Falle einer Fehlbedienung der Maschine, die Personal oder die angrenzende Bahnlinie betrifft, vermutlich nicht möglich ist. Die Umkehrbarkeit wird als hoch bewertet.

8.3.2.8 SBB-Beispiel Nummer 8

Die Bewertung dieses Beispiels erfolgt anhand der Tabelle 25 aus Abschnitt 5.4. Bei der Änderung soll die Geschwindigkeit auf einer Hauptlinie auf 160 km/h erhöht werden, was laut Vorschriften einen Schutz dieser Hauptlinie vor Rangierfahrten erforderlich macht. Da in diesem Fall durch die Änderung auch Züge mit Reisenden auf der Hauptlinie betroffen sind, werden die Ausfallfolgen mit „katastrophal“ bewertet. Da eine neue Betriebsform eingesetzt wird, mit der die SBB bisher keine Erfahrung besitzt und die die Hauptlinie vor Rangierfahrten schützen soll, wird die Innovation als hoch bewertet. Die Änderung ist nicht

komplex. Die Überwachung wird als hoch bewertet, da technische Maßnahmen für die Überwachung vorhanden sind. Die Umkehrbarkeit wird als hoch bewertet, da gegebenenfalls die zulässige Maximalgeschwindigkeit wieder reduziert werden kann.

8.3.2.9 SBB-Beispiel Nummer 9

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 aus Abschnitt 5.4. Auf einer neuen Hochgeschwindigkeitsstrecke soll ETCS Level 2 eingesetzt werden. Für die Ausfallfolgen liegt somit SIL4 vor. Die Innovation und die Komplexität werden jeweils als hoch bewertet, da für den betroffenen Streckenabschnitt eine solche Änderung nur einmalig durchgeführt wird und diese Änderung darüber hinaus komplex ist. Die Überwachung und die Umkehrbarkeit werden als hoch bewertet, da hier technische Maßnahmen zur Überwachung existieren und zusätzlich auch eine Rückfallebene vorliegt.

8.3.2.10 SBB-Beispiel Nummer 10

Diese Änderung erfüllt nicht die Anforderung an die Definition relevanter Änderungen aus Tabelle 23 in Abschnitt 5.1.1. Die Erläuterung hierfür ist im Hauptteil der Arbeit in Abschnitt 6.4.4 dargestellt.

8.3.2.11 SBB-Beispiel Nummer 11

Die Bewertung erfolgt anhand der Tabelle 24 aus Abschnitt 5.4. Für die Einführung eines neuen Zugtyps wird die „Folge von Ausfällen“ mit der höchsten Kategorie bewertet, da eine Vielzahl von sicherheitsrelevanten Funktionen im System des Zuges vorhanden ist. Da keine Erfahrung mit diesem Zugtyp vorliegt, wird die Innovation als hoch bewertet. Die Einführung ist aufgrund der Vielzahl der vorhandenen Aspekte als komplex bewertet. Die Überwachung und die Umkehrbarkeit werden als hoch bewertet, da technische Maßnahmen zur Überwachung vorliegen und bei Problemen der neue Zugtyp gegebenenfalls temporär aus dem Betrieb genommen werden kann.

8.3.3 Kovarianz-Matrizen für die betrachtete Datenbasis

Gruppe		Ausfallfolgen	Innovation	Komplexität	Überwachung	Umkehrbarkeit
nicht signifikant	Ausfallfolgen	0,917	-0,450	-0,092	-0,058	-0,175
	Innovation	-0,450	0,917	-0,075	-0,042	0,008
	Komplexität	-0,092	-0,075	0,229	-0,021	0,138
	Überwachung	-0,058	-0,042	-0,021	0,063	-0,013
	Umkehrbarkeit	-0,175	0,008	0,138	-0,013	0,163
signifikant	Ausfallfolgen	0,471	-0,110	-0,004	-0,176	-0,176
	Innovation	-0,110	0,618	-0,029	-0,037	-0,162
	Komplexität	-0,004	-0,029	0,257	-0,085	0,040
	Überwachung	-0,176	-0,037	-0,085	0,191	0,066
	Umkehrbarkeit	-0,176	-0,162	0,040	0,066	0,191
Gesamt	Ausfallfolgen	0,843	-0,047	0,014	-0,079	-0,160
	Innovation	-0,047	1,008	0,023	0,008	-0,064
	Komplexität	0,014	0,023	0,256	-0,040	0,088
	Überwachung	-0,079	0,008	-0,040	0,133	0,029
	Umkehrbarkeit	-0,160	-0,064	0,088	0,029	0,172

Tabelle 60: Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen

8.3.4 Standardisierung der Diskriminanzkoeffizienten

Die Standardisierung der Diskriminanzkoeffizienten erfolgt über die Multiplikation der unstandardisierten Diskriminanzkoeffizienten mit der Innergruppen-Varianz der Merkmalsvariablen, die auch als gepoolte Standardabweichung bezeichnet wird. Diese gepoolte Standardabweichung s_j berechnet sich aus Formel (15) (vgl. [BAC11]).

$$(15) \quad s_j = \sqrt{\frac{w_{jj}}{I-G}}$$

mit:

I = Anzahl der Elemente der Datenbasis

G = Anzahl der Merkmalsvariablen

w_{jj} = Innergruppen-Streuung der Merkmalsvariablen j

Die Innergruppen-Streuung berechnet sich aus Formel (16).

$$(16) \quad w_{jj} = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{I_g} (X_{jgi} - \bar{X}_{jg})^2$$

mit:

\bar{X}_{jg} Mittelwert von Variable j in Gruppe g

X_{jgi} Wert von Variable j des Elements i in Gruppe g

8.3.5 Klassifizierungsergebnisse unter Ausschluss der Variable „Komplexität“

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Diskriminanzwerte	Vorhergesagte Gruppe				Nicht vorhergesagte Gruppe		
			Vorhergesagte Gruppe	$P(D>d \mid G=g)^*$	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid	Gruppe	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid
1	0	-1,095	0	0,516	0,971644	0,422	1	0,028356	7,490
2	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
3	0	-1,095	0	0,516	0,971644	0,422	1	0,028356	7,490
4	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
5	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
6	0	-2,919	0	0,240	0,999939	1,380	1	0,000061	20,803
7	0	-2,919	0	0,240	0,999939	1,380	1	0,000061	20,803
8	1	-0,149	0**	0,111	0,581662	2,547	1	0,418338	3,206
9	0	-0,149	0	0,111	0,581662	2,547	1	0,418338	3,206
10	0	-1,973	0	0,819	0,998510	0,052	1	0,001490	13,067
11	0	-1,610	0	0,893	0,994921	0,018	1	0,005079	10,573
12	0	-0,149	0	0,111	0,581662	2,547	1	0,418338	3,206
13	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
14	0	-1,095	0	0,516	0,971644	0,422	1	0,028356	7,490
15	0	-2,716	0	0,331	0,999879	0,943	1	0,000121	18,988
16	0	-0,732	0	0,311	0,909251	1,026	1	0,090749	5,635
17	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
18	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
19	1	2,242	1	0,548	0,999577	0,360	0	0,000423	15,894
20	0	-4,743	0	0,003	1,000000	8,993	1	0,000000	40,772
21	0	-2,556	0	0,417	0,999793	0,659	1	0,000207	17,623
22	0	-1,095	0	0,516	0,971644	0,422	1	0,028356	7,490
23	0	-1,095	0	0,516	0,971644	0,422	1	0,028356	7,490
24	0	-1,973	0	0,819	0,998510	0,052	1	0,001490	13,067
25	1	1,092	1	0,583	0,979630	0,302	0	0,020370	8,048
26	1	1,092	1	0,583	0,979630	0,302	0	0,020370	8,048
27	1	2,242	1	0,548	0,999577	0,360	0	0,000423	15,894
28	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
29	1	0,933	1	0,478	0,965533	0,503	0	0,034467	7,168
30	1	3,703	1	0,039	0,999997	4,249	0	0,000003	29,679
31	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
32	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697
33	1	1,676	1	0,973	0,997123	0,001	0	0,002877	11,697

$P(D>d \mid G=g)^*$: Gibt die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür an, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden besitzt als das betrachtete Element.

Tabelle 61: Übersicht über die Klassifizierung ohne die Variable „Komplexität“

8.3.6 Klassifizierungsergebnisse unter Ausschluss der Variable „Umkehrbarkeit“

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Diskriminanzwerte	Vorhergesagte Gruppe				Nicht vorhergesagte Gruppe		
			Vorhergesagte Gruppe	$P(D>d G=g)^*$	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid	Gruppe	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid
1	0	-1,421	0	0,815	0,987953	0,054	1	0,012047	8,868
2	1	0,895	1	0,508	0,953964	0,438	0	0,046036	6,500
3	0	0,031	1**	0,127	0,563783	2,328	0	0,436217	2,841
4	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014
5	1	0,895	1	0,508	0,953964	0,438	0	0,046036	6,500
6	0	-2,824	0	0,242	0,999865	1,367	1	0,000135	19,189
7	0	-1,371	0	0,777	0,985905	0,080	1	0,014095	8,576
8	1	0,945	1	0,540	0,960465	0,375	0	0,039535	6,755
9	0	-0,507	0	0,251	0,813528	1,315	1	0,186472	4,262
10	0	-1,910	0	0,798	0,997471	0,065	1	0,002529	12,020
11	0	-1,861	0	0,837	0,997036	0,043	1	0,002964	11,679
12	0	-0,507	0	0,251	0,813528	1,315	1	0,186472	4,262
13	1	0,895	1	0,508	0,953964	0,438	0	0,046036	6,500
14	0	-1,421	0	0,815	0,987953	0,054	1	0,012047	8,868
15	0	-1,554	0	0,920	0,992107	0,010	1	0,007893	9,678
16	0	-1,371	0	0,777	0,985905	0,080	1	0,014095	8,576
17	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014
18	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014
19	1	2,214	1	0,511	0,999303	0,432	0	0,000697	14,967
20	0	-4,226	0	0,010	0,999999	6,615	1	0,000001	33,446
21	0	-2,774	0	0,263	0,999842	1,254	1	0,000158	18,758
22	0	-1,421	0	0,815	0,987953	0,054	1	0,012047	8,868
23	0	-1,421	0	0,815	0,987953	0,054	1	0,012047	8,868
24	0	-1,910	0	0,798	0,997471	0,065	1	0,002529	12,020
25	1	0,031	1	0,127	0,563783	2,328	0	0,436217	2,841
26	1	0,031	1	0,127	0,563783	2,328	0	0,436217	2,841
27	1	0,762	1	0,427	0,931125	0,632	0	0,068875	5,840
28	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014
29	1	1,251	1	0,760	0,984853	0,093	0	0,015147	8,443
30	1	3,568	1	0,044	0,999991	4,042	0	0,000009	27,268
31	1	0,895	1	0,508	0,953964	0,438	0	0,046036	6,500
32	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014
33	1	2,347	1	0,429	0,999545	0,625	0	0,000455	16,014

$P(D>d | G=g)^*$: Gibt die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür an, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden besitzt als das betrachtete Element.

Tabelle 62: Übersicht über die Klassifizierung ohne die Variable „Umkehrbarkeit“

8.3.7 Diskriminanzanalyse ohne die Beispiele Nummer 3 und 8

Die Betrachtung in Abschnitt 6.5.5 hat zu der Erkenntnis geführt, dass sowohl die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ als auch die Merkmalsvariable „Komplexität“ nicht aus der Diskriminanzfunktion ausgeschlossen werden können. Die Ursache liegt darin begründet, dass durch den Ausschluss Beispiele existieren, die sich zwar in ihrer Gruppenzuordnung unterscheiden, aber ohne die ausgeschlossene Merkmalsvariable keine Unterscheidung innerhalb der unabhängigen Variablen zu den anderen Beispielen mehr besitzen. Daher sollen die hiervon betroffenen Beispiele Nummer 3 und Nummer 8 in dieser experimentellen Untersuchung aus der Datenbasis ausgeschlossen werden. Für diese angepasste Datenbasis wird daraufhin geprüft, welche Ergebnisse ein Ausschluss der beiden Merkmalsvariablen hätte. Dabei soll jeweils der Ausschluss einer der beiden Merkmalsvariablen als auch der Ausschluss beider Merkmalsvariablen „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ betrachtet werden. Die Tabelle 63 stellt die Diskriminanzkoeffizienten sowie die Funktion des Gruppen-Zentroiden der Diskriminanzfunktion dar, aus der die Merkmalsvariable „Komplexität“ ausgeschlossen ist.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,990
Innovation	1,339
Überwachung	2,206
Umkehrbarkeit	2,355
(Konstant)	-8,989

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,907
signifikant	1,788

Tabelle 63: Diskriminanzkoeffizienten ohne Merkmalsvariable „Komplexität“

Durch den Ausschluss des Beispiels Nummer 8 aus der Datenbasis werden nun alle verbliebenen Elemente korrekt klassifiziert. Die Tabelle 64 zeigt die Diskriminanzkoeffizienten sowie die Funktion der Gruppen-Zentroiden für die Diskriminanzfunktion, aus der die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ ausgeschlossen wurde.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,538
Innovation	1,078
Komplexität	1,619
Überwachung	2,817
(Konstant)	-7,446

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,801
signifikant	1,688

Tabelle 64: Diskriminanzkoeffizienten ohne Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“

Wie für den bereits betrachteten Ausschluss der Merkmalsvariable „Komplexität“ aus der Diskriminanzfunktion werden auch mit dieser Diskriminanzfunktion ohne die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ alle Elemente korrekt klassifiziert, da auch das Element Nummer 3 aus der Datenbasis entfernt worden ist. Diese Ergebnisse sind durch den Ausschluss der beiden Elemente Nummer 3 und Nummer 8 aus der Datenbasis zu erklären, da diese Elemente jeweils falsch klassifiziert wurden (vgl. Anhang 8.3.5 und Anhang 8.3.6).

Nun soll eine weitere Untersuchung für die angepasste Datenbasis durchgeführt werden, bei der sowohl die Merkmalsvariable „Komplexität“ als auch die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ aus der Diskriminanzfunktion entfernt werden. Die Tabelle 65 zeigt wiederum die Diskriminanzkoeffizienten sowie die Funktion der Gruppen-Zentroiden für die Diskriminanzfunktion, aus der die beiden Merkmalsvariablen „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ entfernt worden sind. Zunächst fällt auf, dass der Abstand der Gruppen-Zentroiden voneinander sich deutlich verringert hat. Da über das Diskriminanzkriterium versucht wird, die Streuung zwischen den Gruppen zu maximieren, liefert dies einen Hinweis darauf, dass sich die Trennkraft der Diskriminanzfunktion durch den Ausschluss der beiden Merkmalsvariablen verschlechtert hat. Die Gruppen-Zentroiden liegen näher zusammen als noch bei dem Ausschluss einer der beiden Merkmalsvariablen. Betrachtet man die Klassifizierung der verbliebenen 31 Elemente, wird deutlich, dass vier Elemente anhand

dieser Diskriminanzfunktion falsch klassifiziert werden. Hierbei handelt es sich um die Beispiele Nummer 9, Nummer 12, Nummer 25 und Nummer 26. Die Nummerierung der verbliebenen Elemente wurde trotz des Ausschlusses der Beispiele Nummer 3 und Nummer 8 zum Zweck der Übersichtlichkeit beibehalten.

Kanonische Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	
Unabhängige Variable	Koeffizient
Ausfallfolgen	1,342
Innovation	1,002
Überwachung	2,109
(Konstant)	-5,920

Funktionen bei den Gruppen-Zentroiden	
Gruppe	Zentroid
nicht signifikant	-1,353
signifikant	1,269

Tabelle 65: Diskriminanzkoeffizienten ohne „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“

Die Tabelle 66 zeigt die Klassifizierungsergebnisse anhand der Diskriminanzfunktion, aus der sowohl die Merkmalsvariable „Komplexität“ als auch die Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“ ausgeschlossen wurden.

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Diskriminanzwerte	Vorhergesagte Gruppe				Nicht vorhergesagte Gruppe		
			Vorhergesagte Gruppe	$P(D>d G=g)^*$	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid	Gruppe	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid
1	0	-0,551	0	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
2	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
3	Beispiel wurde für diese Betrachtung aus der Datenbasis ausgeschlossen.								
4	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
5	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
6	0	-1,893	0	0,589	0,992257	0,292	1	0,007743	9,998
7	0	-1,893	0	0,589	0,992257	0,292	1	0,007743	9,998
8	Beispiel wurde für diese Betrachtung aus der Datenbasis ausgeschlossen.								
9	0	0,110	1**	0,247	0,598780	1,341	0	0,401220	2,142
10	0	-1,232	0	0,903	0,957651	0,015	1	0,042349	6,252
11	0	-2,574	0	0,222	0,998691	1,490	1	0,001309	14,765
12	0	0,110	1**	0,247	0,598780	1,341	0	0,401220	2,142
13	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
14	0	-0,551	0	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
15	0	-1,126	0	0,820	0,944888	0,052	1	0,055112	5,735
16	0	-1,893	0	0,589	0,992257	0,292	1	0,007743	9,998
17	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
18	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
19	1	0,878	1	0,696	0,917733	0,153	0	0,082267	4,977
20	0	-3,235	0	0,060	0,999769	3,543	1	0,000231	20,287
21	0	-3,235	0	0,060	0,999769	3,543	1	0,000231	20,287
22	0	-0,551	0	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
23	0	-0,551	0	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
24	0	-1,232	0	0,903	0,957651	0,015	1	0,042349	6,252
25	1	-0,551	0**	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
26	1	-0,551	0**	0,423	0,791558	0,643	1	0,208442	3,312
27	1	0,878	1	0,696	0,917733	0,153	0	0,082267	4,977
28	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
29	1	1,558	1	0,772	0,985169	0,084	0	0,014831	8,476
30	1	3,562	1	0,022	0,999921	5,259	0	0,000079	24,159
31	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
32	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872
33	1	1,453	1	0,854	0,980531	0,034	0	0,019469	7,872

$P(D>d | G=g)^*$: Gibt die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür an, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden besitzt als das betrachtete Element.

Tabelle 66: Klassifizierungsergebnisse ohne „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“

Die Ergebnisse machen deutlich, dass ein Ausschluss der Elemente Nummer 3 und Nummer 8 dafür sorgen, dass jeweils alle Elemente korrekt klassifiziert werden, falls eine der beiden Merkmalsvariablen „Komplexität“ oder „Umkehrbarkeit“ aus der Diskriminanzfunktion entfernt werden. Werden jedoch beide Merkmalsvariablen ausgeschlossen, verschlechtert sich die Trennkraft der Diskriminanzfunktion auch für die angepasste Datenbasis deutlich. Zum einen reduziert sich der Abstand der Gruppen-Zentroiden und zum anderen werden vier der verbliebenen 31 Elemente nicht korrekt klassifiziert. Daraus kann geschlossen werden, dass beide Merkmalsvariablen in ihrer Kombination zu der Güte der Diskriminanzfunktion beitragen. Betrachtet man beide Merkmalsvariablen getrennt, wird deutlich, dass die diskriminatorische Bedeutung der Merkmalsvariablen bei der vorhandenen Datenbasis jeweils an nur einem Element festgemacht werden kann. Aus diesem Grund sollte die Datenbasis in weitergehenden Untersuchungen vergrößert werden, um diesen Aspekt näher zu untersuchen.

8.3.8 Kreuzvalidierung

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Vorhergesagte Gruppe				Nicht vorhergesagte Gruppe		
		Vorhergesagte Gruppe	$P(D>d \mid G=g)^*$	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid	Gruppe	Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit	Quadrierter Mahalanobis-Abstand zum Zentroid
1	0	0	0,722	0,990648	2,856	1	0,009352	12,181
2	1	1	0,660	0,987680	3,262	0	0,012320	12,031
3	0	0	0,145	0,637619	8,205	1	0,362381	9,335
4	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861
5	1	1	0,660	0,987680	3,262	0	0,012320	12,031
6	0	0	0,734	0,999993	2,779	1	0,000007	26,558
7	0	0	0,285	0,999678	6,227	1	0,000322	22,308
8	1	1	0,228	0,654402	6,904	0	0,345598	8,181
9	0	0	0,413	0,730351	5,020	1	0,269649	7,012
10	0	0	0,492	0,999601	4,412	1	0,000399	20,064
11	0	0	0,017	0,981473	13,769	1	0,018527	21,709
12	0	0	0,413	0,730351	5,020	1	0,269649	7,012
13	1	1	0,660	0,987680	3,262	0	0,012320	12,031
14	0	0	0,722	0,990648	2,856	1	0,009352	12,181
15	0	0	0,006	0,999905	16,465	1	0,000095	34,984
16	0	0	0,134	0,754305	8,441	1	0,245695	10,684
17	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861
18	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861
19	1	1	0,020	0,999973	13,422	0	0,000027	34,455
20	0	0	0,004	1,000000	17,568	1	0,000000	69,291
21	0	0	0,276	0,999843	6,322	1	0,000157	23,843
22	0	0	0,722	0,990648	2,856	1	0,009352	12,181
23	0	0	0,722	0,990648	2,856	1	0,009352	12,181
24	0	0	0,492	0,999601	4,412	1	0,000399	20,064
25	1	1	0,062	0,935160	10,523	0	0,064840	15,860
26	1	1	0,062	0,935160	10,523	0	0,064840	15,860
27	1	1	0,007	0,996411	16,003	0	0,003589	27,256
28	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861
29	1	1	0,013	0,862821	14,533	0	0,137179	18,211
30	1	1	0,018	1,000000	13,594	0	0,000000	47,023
31	1	1	0,660	0,987680	3,262	0	0,012320	12,031
32	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861
33	1	1	0,829	0,999614	2,141	0	0,000386	17,861

$P(D>d \mid G=g)^*$: Gibt die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür an, mit der ein Element derselben Gruppe einen größeren Abstand zum Zentroiden besitzt als das betrachtete Element.

Tabelle 67: Übersicht über die kreuzvalidierten Elemente und ihre Klassifikation

8.3.9 Klassifikation neuer Elemente anhand der Formel mit Werten ohne Nachkommastellen

Die Betrachtung der Punktwerte des DB-Verfahrens macht deutlich, dass hier ausschließlich Werte ohne Nachkommastellen vorliegen. Daher soll für die Prüfung einer möglichen Vereinfachung eine Klassifikation aller Elemente anhand der Formel (13) erfolgen, wobei alle Punktwerte des entwickelten Verfahrens auf Werte ohne Nachkommastellen gerundet sind. Diese Betrachtung ist in Tabelle 68 dargestellt.

Nummer des Beispiels	Tatsächliche Gruppe	Vorhergesagte Gruppe anhand Originalformel		Vorhergesagte Gruppe anhand der Formel mit gerundeten Werten	
		Klassifizierung in Gruppe	Ermittelter Wert	Klassifizierung in Gruppe	Ermittelter Wert
1	0	0	-1,40	0	-2,00
2	1	1	1,34	1	1,00
3	0	0	-0,50	0	-1,00
4	1	1	2,24	1	2,00
5	1	1	1,34	1	1,00
6	0	0	-3,19	0	-4,00
7	0	0	-2,29	0	-3,00
8	1	1	0,45	1	0,00
9	0	0	-0,45	0	-1,00
10	0	0	-2,23	0	-2,00
11	0	0	-1,50	0	-1,00
12	0	0	-0,45	0	-1,00
13	1	1	1,34	1	1,00
14	0	0	-1,40	0	-2,00
15	0	0	-2,51	0	-3,00
16	0	0	-0,67	0	-1,00
17	1	1	2,24	1	2,00
18	1	1	2,24	1	2,00
19	1	1	2,75	1	3,00
20	0	0	-4,97	0	-5,00
21	0	0	-2,45	0	-2,00
22	0	0	-1,40	0	-2,00
23	0	0	-1,40	0	-2,00
24	0	0	-2,23	0	-2,00
25	1	1	1,12	1	1,00
26	1	1	1,12	1	1,00
27	1	1	1,85	1	2,00
28	1	1	2,24	1	2,00
29	1	1	1,06	1	0,00
30	1	1	3,80	1	3,00
31	1	1	1,34	1	1,00
32	1	1	2,24	1	2,00
33	1	1	2,24	1	2,00

Tabelle 68: Klassifikation der vorhandenen Beispiele

Für die Übersichtlichkeit wurden die Schwellenwerte in der Tabelle bereits von dem ermittelten Punktwert abgezogen, so dass ein Ergebnis größer beziehungsweise gleich Null die Änderung jeweils als signifikant klassifiziert. Negative Ergebnisse sorgen demzufolge für eine Klassifizierung der Änderung in die Gruppe „nicht signifikant“. Es ist zu erkennen, dass auch mit den gerundeten Punktwerten aus Tabelle 69 alle Elemente korrekt klassifiziert werden. Die Zahl Null ist wiederum der Gruppe „nicht signifikant“ und die Zahl Eins der Gruppe „signifikant“ zugeordnet.

Kriterium	Kategorie	Tatsächliche Punktwerte im Verfahren	Punktwerte ohne Nachkommastellen
Folge von Ausfällen	SIL 4 / katastrophal	7,14	7,00
	SIL 3 / kritisch	5,35	5,00
	SIL 2 / marginal	3,57	4,00
	SIL 1 / unbedeutend	1,78	2,00
Innovation	hoch	2,74	3,00
	gering	0,00	0,00
Komplexität	hoch	0,90	1,00
	gering	0,00	0,00
Überwachbarkeit	gering	2,46	2,00
	hoch	0,00	0,00
Umkehrbarkeit	nein	1,62	2,00
	ja	0,00	0,00
Schwellenwert		8,54	9,00

Tabelle 69: Übersicht über tatsächliche und gerundete Punktwerte

8.3.10 Vergleich der Punktwerte des entwickelten Verfahrens und des DB-Verfahrens

Ein unmittelbarer Vergleich der Punktwerte aus Tabelle 43 ist nicht möglich, da beide Verfahren über einen unterschiedlichen Schwellenwert verfügen, ab dem eine Änderung signifikant ist. Würden die Verhältnisse der Punktwerte der einzelnen Variablen dem Verhältnis der Schwellenwerte der beiden Verfahren entsprechen, wären die beiden Modelle trotz unterschiedlicher Punkt- und Schwellenwerte miteinander vergleichbar. Daher ist es sinnvoll, zunächst das Verhältnis der beiden Schwellenwerte zu untersuchen.

Die Betrachtung des DB-Verfahrens macht deutlich, dass anhand des Punkteschemas aus Anhang 8.2.5 eine Änderung bei einem Punktwert von 5 noch als nicht signifikant und bei einem Punktwert von 6 bereits als signifikant klassifiziert wird und zudem nur ganzzahlige Ergebnisse möglich sind. Somit ist der in Formel (4) gewählte Schwellenwert von 6 nur ein möglicher Schwellenwert. Jeder Wert, der in dem Intervall von 5 bis 6 liegt, wobei die Zahl 5 kein Element dieses Intervalls und die Zahl 6 hingegen ein Element dieses Intervalls ist, stellt einen gültigen Schwellenwert für Formel (4) dar. Für diese Untersuchung sollen daher die beiden Grenzen des Intervalls betrachtet werden. Die Tabelle 70 zeigt diesen Vergleich. Da für diesen Vergleich die beiden Grenzen des Intervalls berücksichtigt werden, ergeben sich für die angepassten Punktwerte des DB-Verfahrens je Kategorie jeweils zwei Werte, die

somit auch einen Bereich angeben. Der Punktwert bewegt sich je nach dem tatsächlich gewählten Schwellenwert zwischen diesen beiden Werten. Für den oberen und den unteren Schwellenwert wurde jeweils das Verhältnis zum Schwellenwert des neuen Verfahrens bestimmt. Im folgenden Schritt wurden über dieses Verhältnis der Schwellenwert im DB-Verfahren auf 8,54 normiert und die jeweiligen Punktwerte angepasst. Die letzte Spalte dieser Tabelle liefert nun das Verhältnis der Punktwerte der einzelnen Kategorien beider Verfahren. Auch dieses Verhältnis gibt aufgrund des vorliegenden Intervalls des Schwellenwerts jeweils einen Bereich an, in dem sich das tatsächliche Verhältnis bewegt.

Kriterium	Kategorie	Punktwerte neues Verfahren	Punktwerte im DB-Verfahren	Angepasster Punktwert des DB-Verfahrens		Verhältnis	
				für unteren Intervallwert	für oberen Intervallwert	für unteren Intervallwert	für oberen Intervallwert
Folge von Ausfällen	SIL 4 / katastrophal	7,14	4,00	6,82	5,69	1,05	1,25
	SIL 3 / kritisch	5,35	3,00	5,11	4,27		
	SIL 2 / marginal	3,57	2,00	3,41	2,85		
	SIL 1 / unbedeutend	1,78	1,00	1,70	1,42		
Innovation	hoch	2,74	2,00	3,41	2,85	0,80	0,96
	gering	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
Komplexität	hoch	0,90	1,00	1,70	1,42	0,53	0,63
	gering	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
Überwachbarkeit	gering	2,46	1,00	1,70	1,42	1,44	1,73
	hoch	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
Umkehrbarkeit	nein	1,62	1,00	1,70	1,42	0,95	1,14
	ja	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
Schwellenwert		8,54	5,01 - 6,00	8,54		1,00	

Tabelle 70: Vergleich der Punktwerte beider Verfahren

Es ist zu erkennen, dass die Kriterien „Folge von Ausfällen“ und „Umkehrbarkeit“ in der anhand der Diskriminanzanalyse ermittelten Klassifikationsformel leicht stärker gewichtet sind. Das Kriterium „Innovation“ bewegt sich je nach tatsächlich gewähltem Schwellenwert im Bereich zwischen 0,80 und 0,96 und ist damit leicht schwächer gewichtet. Das Kriterium „Überwachbarkeit“ hingegen ist im ermittelten Verfahren deutlich stärker und das Kriterium „Komplexität“ deutlich schwächer gewichtet. Da die Punktwerte des DB-Verfahrens somit signifikant von den Punktwerten der statistisch optimalen Lösung abweichen, die anhand der Diskriminanzanalyse ermittelt wurde, besitzt das Modell des DB-Verfahrens für die vorhandene Datenbasis keine Gültigkeit. Zudem konnte bereits in Abschnitt 6.6 gezeigt werden, dass abgesehen von der hier erfolgten Betrachtung das DB-Verfahren im Gegensatz zum neu entwickelten Verfahren auch ein vorhandenes Element der Datenbasis falsch klassifiziert.

8.3.11 Logistische Regressionsanalyse

Anhand der Anwendung der logistischen Regressionsanalyse auf die Datenbasis aus Anhang 8.3.1 ergibt sich eine Schätzung der Regressionskoeffizienten, die in Tabelle 71 dargestellt sind.

Parameter	Werte
Konstanter Term	-193,683
Ausfallfolgen	35,769
Innovation	34,592
Komplexität	33,792
Überwachung	69,200
Umkehrbarkeit	34,943

Tabelle 71: Schätzung der Regressionskoeffizienten anhand logistischer Regression

Wie bei der Diskriminanzanalyse lassen sich nun wiederum die Qualität des Gesamtmodells sowie die Qualität der Merkmalsvariablen prüfen. Die Güte des Gesamtmodells kann für die logistische Regression anhand der LogLikelihood-Funktion erfolgen. Über diese LL-Funktion wird die Wahrscheinlichkeit dafür betrachtet, dass anhand der geschätzten Regressionskoeffizienten die tatsächlich vorliegenden Beobachtungswerte korrekt vorhergesagt werden.

Informationen zur Modellanpassung				
Modell	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
	-2 Log-Likelihood	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
Nur konstanter Term	45,717			
Endgültig	0,000	45,717	5	0,000

Tabelle 72: Überprüfung der Güte des Gesamtmodells

Hierfür wird jedoch nicht die LL-Funktion selbst sondern die sogenannte -2LL-Funktion betrachtet, da sich diese ähnlich wie eine χ^2 -Verteilung verhält. Dabei wird die Größe -2LL auch als Devianz beziehungsweise als die Abweichung vom Idealwert bezeichnet. Für eine perfekte Anpassung würde der Likelihood selbst einen Wert von Eins besitzen und die -2LL-Funktion einen Wert von Null annehmen. Die Signifikanz bezieht sich dabei auf die Nullhypothese, dass das Modell eine perfekte Anpassung besitzt (vgl. [BAC11]). Die Tabelle 72 zeigt diese hier erläuterte Prüfung des Gesamtmodells.

Das endgültige Modell verfügt mit einem -2LL-Wert von Null über eine perfekte Anpassung, wodurch auch die Nullhypothese nicht verworfen werden kann, die diese perfekte Anpassung unterstellt. Das Gesamtmodell erklärt also alle Gruppenzuordnungen anhand der geschätzten Parameter.

Beobachtet	Vorhergesagt		
	nicht signifikant	signifikant	Prozent richtig
nicht signifikant	16	0	100,0%
signifikant	0	17	100,0%
Prozent insgesamt	48,5%	51,5%	100,0%

Tabelle 73: Anteil der korrekt klassifizierten Beobachtungen

Die Tabelle 73 zeigt zudem, dass alle 33 Elemente mit dem Gesamtmodell korrekt klassifiziert werden. Die Tabelle 74 zeigt im Weiteren die Prüfung der geschätzten Parameter. Hierbei wird der -2LL-Wert des Gesamtmodells mit dem -2LL-Wert verglichen, bei dem der Wert für den betrachteten Parameter auf null gesetzt wird. Ein -2LL-Wert von Null entspricht wiederum einer perfekten Anpassung. Die Ergebnisse der -2LL-Werte legen also nahe, dass abgesehen vom konstanten Term vor allem ein Ausschluss des Parameters „Ausfallfolgen“ oder des Parameters „Innovation“ zu einer Verschlechterung der Anpassung des Gesamtmodells führen würde. Analog zu den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse führt ein Ausschluss der Parameter „Komplexität“ oder „Umkehrbarkeit“ im Vergleich zu den anderen Parametern nur zu einer deutlich geringeren Verschlechterung des Gesamtmodells, da auch ohne diese Parameter der -2LL-Wert jeweils weiterhin nahe Null liegt. Der χ^2 -Wert betrachtet die Differenz zwischen dem Gesamtmodell und dem reduzierten Modell, wobei das Gesamtmodell in diesem Fall ein -2LL-Wert von Null besitzt. Es ist zu erkennen, dass allein die Merkmalsvariablen „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ bei drei Nachkommastellen einen Signifikanzwert α von deutlich ungleich Null besitzen. Diese Signifikanz betrachtet die Nullhypothese, dass die Effekte des betreffenden Regressionskoeffizienten gleich Null sind. Diese Nullhypothese kann abhängig von der Irrtumswahrscheinlichkeit für kleine α -Werte abgelehnt werden. Dieses Ergebnis legt also nahe, die Parameter „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“ näher zu untersuchen. Dieses Vorgehen wurde bereits im Rahmen der Diskriminanzanalyse in Abschnitt 6.5.5 gewählt und ausführlich betrachtet.

Likelihood-Quotienten-Tests				
Effekt	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
	-2 Log-Likelihood für reduziertes Modell	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
Konstanter Term	37,765	37,765	1	0,000
Ausfallfolgen	28,294	28,294	1	0,000
Innovation	24,030	24,030	1	0,000
Komplexität	3,819	3,819	1	0,051
Überwachung	11,232	11,232	1	0,001
Umkehrbarkeit	3,819	3,819	1	0,051

Tabelle 74: Prüfung der geschätzten Parameter

Somit soll auch anhand der logistischen Regressionsanalyse überprüft werden, welche Auswirkungen ein Ausschluss des Kriteriums „Komplexität“ beziehungsweise des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ auf das Gesamtmodell besitzt. Hierbei wird bei dem Ausschluss des Kriteriums „Komplexität“ aus dem Gesamtmodell analog zur Diskriminanzanalyse das Beispiel Nummer 8 falsch klassifiziert. Bei Ausschluss des Kriteriums „Umkehrbarkeit“ wird wiederum analog zur Diskriminanzanalyse das Beispiel Nummer 3 der falschen Beobachtung zugeordnet. Die Begründung hierfür ist in Abschnitt 6.5.5 ausführlich dargelegt. Somit sollten beide Variablen nicht aus dem Gesamtmodell ausgeschlossen werden.

Die Erläuterung der logistischen Regressionsanalyse in Abschnitt 6.2.2 hat gezeigt, dass diese die Koeffizienten der Regressionsgleichung bestimmt, mit der für jedes dieser Element k ein

z_k -Wert bestimmt werden kann. Mit diesem z_k -Wert kann anhand der Betrachtung der logistischen Wahrscheinlichkeitsverteilung für jedes Element die Wahrscheinlichkeit für die Zugehörigkeit zur Referenzgruppe bestimmt werden. In Abschnitt 6.6 wurde exemplarisch das Beispiel 29 auch mit den Ergebnissen der logistischen Regressionsanalyse bewertet. Diese Bewertung ist in Tabelle 42 dargestellt.

8.4 Anhang zur Anwendung des Programms R

Das Programm R ist ein freies Programm für die statistische Berechnung. Das Programm lässt sich auf der Homepage <http://www.r-project.org/> herunterladen. In diesem Anhang soll gezeigt werden, wie anhand dieses freien Programms eine Diskriminanzanalyse durchgeführt werden kann. Damit wird ermöglicht, dass eine Untersuchung weiterer Beispiele durch Dritte durchgeführt werden kann. Durch die Offenlegung der innerhalb dieser Arbeit genutzten Datenbasis in Anhang 8.3.1 können zudem die Ergebnisse dieser Arbeit nachvollzogen werden.

Zunächst besteht die Anforderung an das vorhandene Datenmaterial, dass dieses in einem durch Kommata getrennten Format wie dem CSV-Format vorliegt. Die zu betrachtenden Elemente sollten dabei wie die Beispiele in Anhang 8.3.1 in einer Tabelle vorliegen, bei der in der obersten Zeile die Bezeichnung der Spalten vorliegt. Für das Programm R ist es dabei unerheblich, ob die Gruppenzuordnung der Elemente dabei mit Zahlen (0 für nicht signifikant, 1 für signifikant) oder direkt mit „signifikant“ oder „nicht signifikant“ erfolgt. Die textliche Beschreibung der Gruppenzuordnung ist dabei vorzuziehen, da dies der besseren Übersicht der Ergebnisse dient. Liegen die Daten in der beschriebenen Form vor, muss innerhalb des Programms zunächst das Paket „MASS“ geladen werden, da die Diskriminanzanalyse Teil dieses Pakets ist. Liegt dieses Paket nicht im Programm vor, kann es über „Paket\Lade Paket...“ installiert werden.

1. Die vorliegenden Daten der Elemente werden über folgenden Befehl in R geladen:

```
Daten <- read.csv2("C:/R/Dateiname.csv", header=T)
```

Hierbei muss der korrekte „Dateiname“ sowie der Ort dieser Datei auf dem Laufwerk angegeben werden. Über den Pfeil wird der Inhalt der eingelesenen Tabelle dem Objekt „Daten“ zugeordnet.

2. Aufruf der Diskriminanzanalyse für das nun vorhandene Objekt „Daten“:

```
lda(Daten[x:y], Daten[,z])
```

mit:	x	Spaltennummer der ersten Merkmalsvariablen
	y	Spaltennummer der letzten Merkmalsvariablen
	z	Spaltennummer der vorliegenden Gruppenzuordnung

Die Kriterien stellen dabei die Merkmalsvariablen dar. Die Bewertung „signifikant“ beziehungsweise „nicht signifikant“ entspricht der Gruppenzuordnung. Sollte ein anderer Objektname als „Daten“ genutzt worden sein, ist dieser zu wählen. Mit den Variablen x und y ist der Bereich festzulegen, in dem die unabhängigen Variablen also die Kriterien innerhalb der Tabelle liegen. Mit der Variablen z ist die Spalte

anzugeben, in der sich die Gruppenzuordnung „signifikant“ beziehungsweise „nicht signifikant“ innerhalb der Tabelle befindet. Man bekommt nun die Wahrscheinlichkeit für die Gruppenzugehörigkeit und damit auch die Größe beider Gruppen sowie die Gruppenmittelwerte. Darüber hinaus erhält man die Diskriminanzkoeffizienten. Das konstante Glied wird nicht mit ausgegeben.

3. Klassifikation der vorhandenen Daten anhand der ermittelten Diskriminanzkoeffizienten:

```
lda(Daten[x:y], Daten[,z], CV=TRUE)
```

Wiederum sind die Variablen x, y und z wie unter (2.) korrekt einzutragen. Zusätzlich wird CV=TRUE ergänzt, wodurch R eine Klassifikation der vorhandenen Elemente ausgibt. Hierbei ist für jedes Element die Wahrscheinlichkeit angegeben, mit der es zu Gruppe A oder zu Gruppe B gehört.

4. Test der Daten gegen sich selbst und Ermittlung des konstanten Glieds b_0 :

```
Test <- lda(Daten[x:y], Daten[,z])
predict(Test, Daten[x:y])$x
```

Zunächst werden die Ergebnisse der linearen Diskriminanzanalyse dem Objekt Test zugeordnet. Mit dem zweiten Befehl werden nun die vorhandenen Werte der Merkmalsvariablen in die ermittelte Diskriminanzfunktion eingesetzt. R gibt daraufhin die Diskriminanzwerte jedes Elements aus. Aus den Diskriminanzwerten lässt sich das konstante Glied b_0 einfach berechnen, indem für ein beliebiges Element sowohl die Diskriminanzkoeffizienten als auch die Werte der Merkmalsvariablen sowie zusätzlich der Diskriminanzwert des Elements in die folgende Formel eingesetzt wird:

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_j X_j$$

mit

$Y = \text{Diskriminanzvariable}$

$X_j = \text{Merkmalsvariable } j \text{ (} j = 1, 2, \dots, J \text{)}$

$b_j = \text{Diskriminanzkoeffizient für Merkmalsvariable } j$

$b_0 = \text{Konstantes Glied}$

Nun liegen für die vorhandene Datenbasis sowohl die Diskriminanzkoeffizienten als auch das konstante Glied vor. Gleichzeitig sind die Wahrscheinlichkeit der Gruppenzuordnung sowie die Diskriminanzwerte der einzelnen Elemente bekannt.

5. Die vorhandenen Daten lassen sich nun innerhalb des Programms R wiederum in einem durch Kommata getrennten Format ausgeben.

```
print <- predict(Test, Daten[x:y])$x
write.csv2(print)
```

Dieses Vorgehen kann auch für die Daten der Funktion lda gewählt werden. Die nun in R vorliegenden Daten im CSV-Format können kopiert und in Excel eingefügt werden. Die Daten lassen sich dort über die Funktion „Daten\Text in Spalten“

wiederum so formatieren, dass die Daten in Spalten und Zeilen getrennt und somit in regulärer Tabellenform vorliegen.

8.5 Anhang zum Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen

Zunächst gibt die Abbildung 24 eine Übersicht über den gesamten CSM-Prozess. Das eigentliche Verfahren zur Signifikanzbewertung von Änderungen umfasst die Bewertung der Sicherheitsrelevanz sowie die Prüfung der Signifikanz der Änderung. In der Abbildung sind diese beiden Schritte im hellblauen Kästchen dargestellt. Gleichzeitig macht die Abbildung deutlich, welche Auswirkungen die einzelnen Bewertungen für das weitere Vorgehen besitzen.

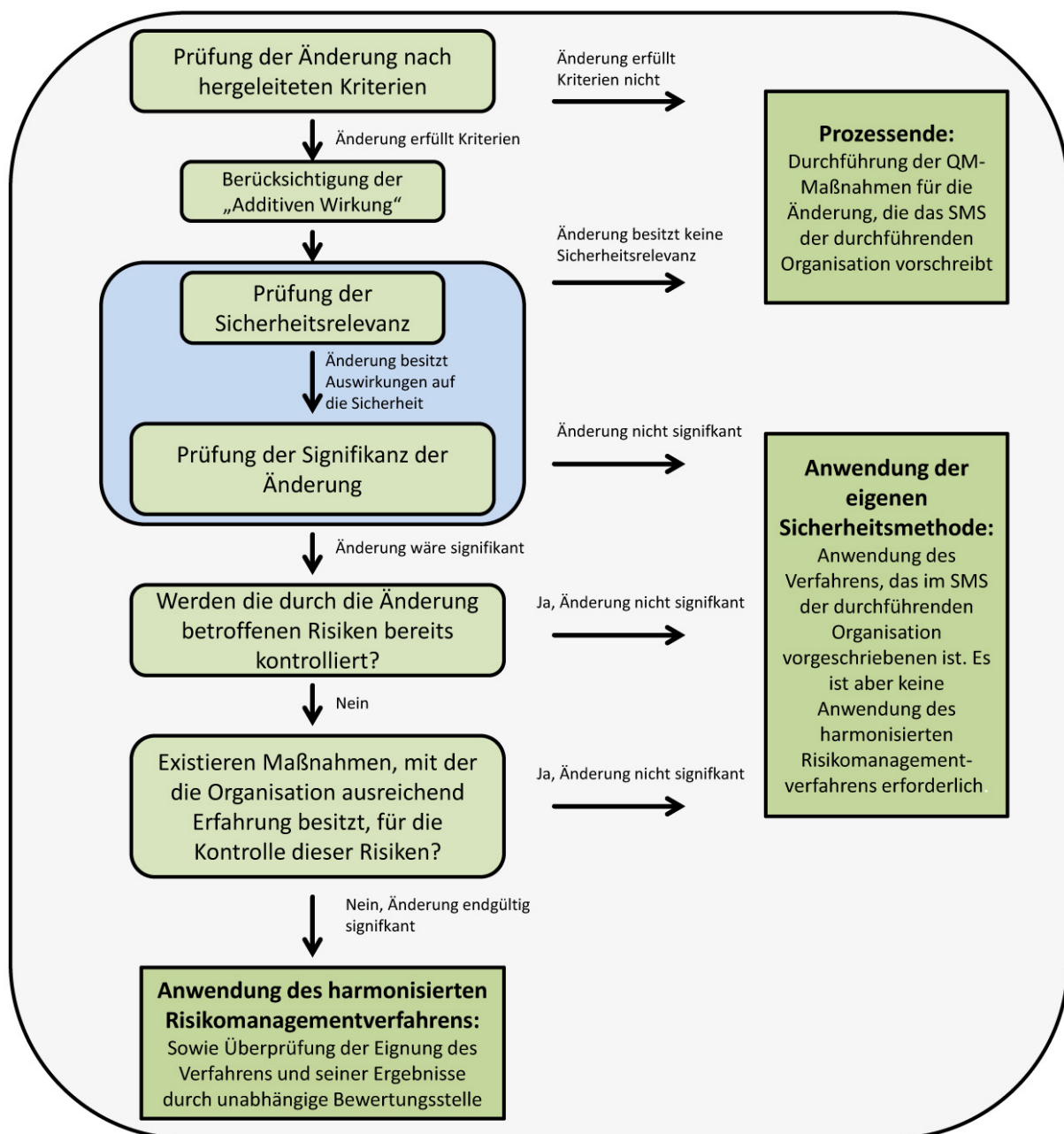


Abbildung 24: Übersicht über den gesamten CSM-Prozess

Im ersten Schritt ist für die Änderung zu prüfen, ob diese für den gesamten Prozess relevant ist. Diese Prüfung erfolgt anhand der Tabelle 75. Hierbei wird unterschieden zwischen Änderungen, die technische Systeme betreffen und solchen Änderungen, die Prozesse und Verfahren betreffen. Fällt eine Änderung nicht unter die dort beschriebenen Definitionen, weil sie beispielsweise die Anwendung bestehender Prozesse und Verfahren darstellt, muss keine weitere Betrachtung der Änderung erfolgen. Für Änderungen, für die jedoch eine oder mehrere der Definitionen aus Tabelle 75 zutreffend ist, muss im Folgenden eine Prüfung der Sicherheitsrelevanz erfolgen. Hierbei ist zunächst das Kriterium „Additive Wirkung“ zu beachten, da dieses definiert, welche Grundlage für alle weiteren Betrachtungen maßgeblich ist. Konkret besagt das Kriterium „Additive Wirkung“, dass alle sicherheitsrelevanten Änderungen, die nicht signifikant sind und denselben Bereich der vorliegenden Änderungen betreffen, in die Betrachtung einzubeziehen sind.

Folgende Änderungen sind mit dem Verfahren zur Signifikanzbewertung zu betrachten:			
zu betrachtende Änderungen im Bereich Technik		zu betrachtende Änderungen an Prozessen und Verfahren	
neue Technik	bestehende Technik	Neue Prozesse und Verfahren	Bestehende Prozesse und Verfahren
- Die Änderung beinhaltet für die Organisation den Einsatz neuer Technik.	- Durch die Änderung können neue Gefährdungen beziehungsweise Risiken entstehen. - Durch die Änderung können bestehende Gefährdungen beziehungsweise Risiken verändert werden.	- Die Änderung macht für die Organisation den Einsatz neugestalteter Prozesse und Verfahren notwendig.	- Durch die Änderung müssen bestehende Prozesse und Verfahren weiterentwickelt werden. - Durch die Änderung entfallen bestehende Prozesse oder Verfahren. - Durch die Änderung kommen bestehende Prozesse und Verfahren erstmalig unter anderen Systembedingungen zur Anwendung. - Durch die Änderung kommen bestehende Prozesse und Verfahren erstmalig in einer neuen Kombination zum Einsatz.
Es muss somit keine Änderung an bestehender Technik betrachtet werden, die keine Gefährdungen beziehungsweise Risiken verändert oder neue hervorrufen kann (1:1 Austausch von Komponenten).		Es muss somit keine Betrachtung von Änderungen erfolgen, bei der bestehende Prozesse und Verfahren angewendet werden.	

Tabelle 75: Prüfung der Relevanz der Änderung

Je nachdem, ob es sich um eine Änderung an technischen Systemen oder an Prozessen und Verfahren handelt, ist für die Prüfung der Sicherheitsrelevanz wie auch für die Signifikanzbewertung eine der folgenden beiden Tabellen zu nutzen. Für Änderungen, die sowohl technische Systeme als auch Prozesse und Verfahren betreffen, sind beide Tabellen einzubeziehen. Wird eine Änderung als sicherheitsrelevant eingestuft, muss für diese sicherheitsrelevante Änderung eine Betrachtung der Signifikanz erfolgen. Eine nicht sicherheitsrelevante Änderung wird hingegen wie eine Änderung behandelt, die keine Relevanz für den gesamten CSM-Prozess besitzt, und muss nicht weiter mit diesem Verfahren untersucht werden.

Für die Untersuchung der Signifikanz werden zunächst die fünf vorliegenden Kriterien bewertet. Die beiden Tabellen enthalten hierzu einerseits eine Beschreibung, was mit dem jeweiligen Kriterium untersucht werden soll. Zum anderen sind die unterschiedlichen Kategorien jedes Kriteriums aufgeführt. Für jede mögliche Kategorie eines Kriteriums liegt dabei eine Beschreibung der Kategorie sowie ein Punktwert vor. Nun hat eine Bewertung der Änderung anhand der Kriterien zu erfolgen, in dem für jedes Kriterium die für die Änderung zutreffende Kategorie gewählt wird. Betrifft eine Änderung sowohl technische Systeme als

auch Prozesse und Verfahren, hat eine Bewertung der Änderung anhand beider Tabellen zu erfolgen. Für jedes Kriterium ist dann jeweils der höhere Wert aus beiden Tabellen maßgeblich.

Beschreibung der Kriterien zur Bewertung von Änderungen an technischen Systemen				
Kriterium	Beschreibung des Kriteriums	Kategorien der Kriterien		
		Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Punktwert der Kategorie
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	(1) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung ein Schaden an Personen, Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt verursacht wird <u>oder</u> (2) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung neue Gefährdungen oder Risiken entstehen oder verändert werden?	Änderung sicherheitsrelevant	Ja, die Möglichkeit für (1) und/ oder (2) besteht.	-
		Änderung nicht sicherheitsrelevant	Nein, die Möglichkeit für (1) <u>und</u> für (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	-
Folge von Ausfällen	Welche Folgen kann der Ausfall des durch die Änderung betroffenen Systems im Worst-Case Szenario unter Berücksichtigung der Sicherheitsbarrieren haben?	katastrophal SIL 4	Mehrere Tote und/oder extreme Schäden für die Umwelt Falls SIL 4 für das zu bewertende System vorliegt.	7,14
		kritisch SIL 3	Schwere Verletzungen und/oder wenige Tote und oder großer Schaden für die Umwelt Falls SIL 3 für das zu bewertende System vorliegt.	5,35
		marginal SIL 2	Leichte Verletzungen und/oder Schäden für die Umgebung Falls SIL 2 für das zu bewertende System vorliegt.	3,57
		unbedeutend SIL 1	mögliche leichte Verletzungen Falls SIL 1 für das zu bewertende System vorliegt.	1,78
Innovation	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation innovativ? <u>oder</u> (2) Wird durch die Änderung für die durchführende Organisation neue und gleichzeitig innovative Technik eingesetzt?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	2,74
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0,00
Komplexität	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation komplex? <u>oder</u> (2) Wird durch die Änderung neue komplexe Technik erforderlich oder sind Änderungen an bestehender komplexer Technik notwendig?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	0,90
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0,00
Überwachbarkeit	(1) Ist die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation gut zu überwachen? <u>und</u> (2) Ist die von der Änderung betroffene Technik gut zu überwachen und kann dies anhand von bewährter Technik beziehungsweise anhand von bewährten Prozessen und Verfahren erfolgen? <u>und</u> (3) Ist ein Eingreifen zur Verhinderung eines Unfalls falls erforderlich möglich?	gering	Nein, (1) und/ oder (2) und/ oder (3) sind für dieses betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	2,46
		hoch	Ja, (1), (2) <u>und</u> (3) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0,00
Umkehrbarkeit	(1) Kann die Änderung durch die durchführende Organisation mit einem vertretbaren Aufwand (zeitlich/ monetär) rückgängig gemacht werden? <u>oder</u> (2) Existiert eine Rückfallebene beziehungsweise ist ein Parallelbetrieb von geändertem und nicht geändertem System möglich?	nein	Nein, (1) <u>und</u> (2) sind für das betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	1,62
		ja	Ja, (1) <u>oder</u> (2) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0,00

Tabelle 76: Kriterien für Änderungen an technischen Systemen

Die Tabelle 76 beschreibt die Kriterien sowie die vorliegenden Kategorien für Änderungen an technischen Systemen. Die Tabelle 77 beschreibt die Kriterien für Änderungen an Prozessen und Verfahren.

Beschreibung der Kriterien zur Bewertung von Änderungen an Prozessen und Verfahren				
Kriterium	Beschreibung des Kriteriums	Kategorien der Kriterien		
		Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Punktwert der Kategorie
Prüfung der Sicherheitsrelevanz	(1) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung ein Schaden an Personen, Fahrzeugen, Infrastruktur oder Umwelt verursacht wird? <u>oder</u> (2) Besteht die Möglichkeit, dass durch die Änderung neue Gefährdungen oder Risiken entstehen oder verändert werden?	Änderung sicherheitsrelevant	Ja, die Möglichkeit für (1) und/ oder (2) besteht.	-
		Änderung nicht sicherheitsrelevant	Nein, die Möglichkeit für (1) <u>und</u> für (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	-
Folge von Ausfällen	Welche Folgen kann der Ausfall der durch die Änderung betroffenen Verfahren und Prozesse im Worst-Case Szenario unter Berücksichtigung der Sicherheitsbarrieren haben?	kritische bis katastrophale Ausfallfolgen	Schwere Verletzungen und wenige bis hin zu mehreren Toten und/oder große bis hin zu extremen Schäden für die Umwelt	7,14
		unbedeutende bis marginale Ausfallfolgen	mögliche leichte Verletzungen bis hin zu leichten Verletzungen und/oder Schäden für die Umgebung	3,57
Innovation	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation innovativ? <u>oder</u> (2) Werden durch die Änderung für die durchführende Organisation neue und gleichzeitig innovative Prozesse und Verfahren erforderlich?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	2,74
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0,00
Komplexität	(1) Ist die Durchführung der Änderung für die betreffende Organisation komplex? <u>oder</u> (2) Werden durch die Änderung neue komplexe Prozesse und Verfahren erforderlich oder sind Änderungen an bestehenden komplexen Prozessen und Verfahren notwendig?	hoch	Ja, (1) und/ oder (2) ist für die betrachtete Änderung zutreffend.	0,90
		gering	Nein, (1) <u>und</u> (2) kann in jedem Fall ausgeschlossen werden.	0,00
Überwachbarkeit	(1) Ist die Durchführung der Änderung durch die betroffene Organisation gut zu überwachen? <u>und</u> (2) Sind die von der Änderung betroffenen oder durch sie erforderlichen Prozesse und Verfahren gut zu überwachen und kann dies anhand von bewährter Technik beziehungsweise anhand von bewährten Prozessen und Verfahren erfolgen? <u>und</u> (3) Ist ein Eingreifen zur Verhinderung eines Unfalls falls erforderlich möglich?	gering	Nein, (1) und/ oder (2) und/ oder (3) sind für dieses betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	2,46
		hoch	Ja, (1), (2) <u>und</u> (3) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0,00
Umkehrbarkeit	(1) Kann die Änderung durch die durchführende Organisation mit einem vertretbaren Aufwand (zeitlich/ monetär) rückgängig gemacht werden? <u>oder</u> (2) Existiert eine Rückfallebene beziehungsweise ist ein Parallelbetrieb von geändertem und nicht geändertem System/ Prozess möglich?	nein	Nein, (1) <u>und</u> (2) sind für das betrachtete Beispiel nicht erfüllt.	1,62
		ja	Ja, (1) <u>oder</u> (2) sind für dieses betrachtete Beispiel erfüllt.	0,00

Tabelle 77: Kriterien für Änderungen an Prozessen und Verfahren

Nach der Untersuchung der vorliegenden Änderung anhand dieser beiden Tabellen liegt für jedes Kriterium eine Kategorie vor, der ein Punktwert zu geordnet. Anhand dieser Punktwerte kann nun eine Bewertung der Signifikanz erfolgen. Hierzu sind die Werte in die folgende Formel einzusetzen:

$$\begin{array}{ll} X_{Ausf.,i} + X_{Inno.,i} + X_{Kompl.,i} + X_{Überw.,i} + X_{Umk.,i} < 8,54 & \text{Klassifizierung als "nicht signifikant"} \\ > 8,54 & \text{Klassifizierung als "signifikant"} \end{array}$$

mit:

$X_{j,i}$: Punktwert des Kriteriums j für die betrachtete Änderung i

Ergibt die Addition der vorliegenden Punktwerte einen Wert größer als 8,54, so wird die Änderung als signifikant klassifiziert. Liegt der Wert unter diesem Schwellenwert von 8,54 gilt die Änderung als nicht signifikant. Für den theoretischen Fall, dass die Addition exakt den Wert 8,54 ergibt, ist keine eindeutige Zuordnung zu einer Gruppe möglich. Eine solche Änderung würde exakt denselben Abstand zu beiden Gruppen-Zentroiden der Diskriminanzanalyse besitzen, so dass eine eindeutige Zuordnung anhand der hier vorgenommenen Abstandbetrachtung nicht möglich ist.

Anhand dieses Vorgehens liegt nun eine eindeutige Signifikanzbewertung der Änderung vor. Das weitere Vorgehen, abhängig von der jeweils vorliegenden Bewertung, beschreibt wiederum die Abbildung 24. Für signifikante Änderungen muss im Folgenden betrachtet werden, ob die mit der Änderung verbundenen Risiken bereits kontrolliert werden oder durch bewährte Maßnahmen kontrolliert werden können. Ist dies nicht der Fall, muss das harmonisierte Risikomanagementverfahren der CSM-Vorschriften zur Anwendung kommen. Änderungen, die nicht als signifikant eingestuft worden sind, müssen mit der eigenen Sicherheitsmethode betrachtet werden, die das SMS für diesen Fall vorschreibt.

9 Terminologie

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Begriffe sollen einer einheitlichen Terminologie folgen. Im Besonderen betrifft dies Begriffe, die im Zusammenhang mit dem CSM-Risikomanagementverfahren stehen und ein zentraler Bestandteil dieser Arbeit sind. In Klammer ist jeweils die englische Terminologie aufgeführt. Die Terminologie ist der Teil der Begriffsbestimmungen der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie [EUP04] sowie der CSM-Vorschrift [EUK13].

Eisenbahnsystem (railway system): die Gesamtheit der Teilsysteme für strukturbezogene und betriebsbezogene Bereiche gemäß den Richtlinien 96/48/EG und 2001/16/EG sowie die Steuerung und den Betrieb des Gesamtsystems;

Gefährdung (hazard): der Umstand, der zu einem Unfall führen könnte;

Gefährdungsermittlung (hazard identification): das Verfahren zur Erkennung, Auflistung und Charakterisierung von Gefährdungen;

Risiko (risk): die Kombination der Häufigkeit des Eintretens von (durch Gefährdung verursachten) Unfällen und Zwischenfällen, die zu einem Schaden führen und der Ausmaß des Schadens;

Risikoevaluierung (risk evaluation): das auf der Risikoanalyse beruhende Verfahren zur Feststellung, ob das Risiko auf ein vertretbares Niveau gesenkt wurde;

Risikoanalyse (risk analysis): die systematische Auswertung aller verfügbaren Informationen zur Ermittlung von Gefährdungen und Abschätzung von Risiken;

Risikomanagement (risk management): die systematische Anwendung von Managementstrategien, -verfahren und -praktiken bei der Analyse, Evaluierung und Beherrschung von Risiken;

Sicherheit (safety): das Nichtvorhandensein unvertretbarer Schadensrisiken;

Störung (incident): ein anderes Ereignis als einen Unfall oder schweren Unfall, das mit dem Betrieb eines Zuges zusammenhängt und den sicheren Betrieb beeinträchtigt;

System (system): jeder Teil des Eisenbahnsystems, der Gegenstand einer Änderung ist, wobei die Änderung technischer, betrieblicher oder organisatorischer Art sein kann;

schwerer Unfall (serious accident): Zugkollisionen oder Zugentgleisungen mit mindestens einem Todesopfer oder mindestens fünf Schwerverletzten oder mit beträchtlichem Schaden für die Fahrzeuge, Infrastruktur oder Umwelt sowie sonstige vergleichbare Unfälle mit offensichtlichen Auswirkungen auf die Regelung der Eisenbahnsicherheit oder das Sicherheitsmanagement; „beträchtlicher Schaden“ bedeutet, dass die Kosten von der Untersuchungsstelle unmittelbar auf insgesamt mindestens 2 Mio. EUR veranschlagt werden können;

Unfall (accident): ein unerwünschtes oder unbeabsichtigtes plötzliches Ereignis oder eine besondere Verkettung derartiger Ereignisse, die schädliche Folgen haben; Unfälle werden in folgende Kategorien eingeteilt: Kollisionen, Entgleisungen, Unfälle auf Bahnübergängen, Unfälle mit Personenschäden, die von in Bewegung befindlichen Fahrzeugen verursacht wurden, Brände und sonstige Unfälle;

Ursachen (causes): Handlungen, Unterlassungen, Ereignisse oder Umstände oder eine Kombination dieser Faktoren, die zu einem Unfall oder einer Störung geführt haben;

10 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Ausführliche Schreibweise
A	
AtG	Atomgesetz
AtVfV	Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen
B	
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
C	
CE-Kennzeichnung	Kennzeichnung der Communautés Européennes (französisch für Europäische Gemeinschaft)
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)
COCOMO	Constructive Cost Modell
CSI	Common Safety Indicators
CSM	Common Safety Method
CST	Common Safety Targets
D	
DB	Deutsche Bahn
DIN	Deutsche Industrie Norm
E	
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit
EBA	Eisenbahn Bundesamt
EC	European Council

EG	Europäische Gemeinschaft
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EM	Effort Multipliers
EN	Europäische Norm
E-OCVM	European Operational Concept Validation Methodology
EP	European Parliament
ERA	European Railway Agency
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
G	
GAMAB	Globalement au moins aussi bon – Generell mindestens genauso gut
GNT	Geschwindigkeitsüberwachung Neigetechnik
GSM-R	Global System for Mobile communication for Railways
H	
HR	Hazard Rate
I	
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICAO	International Civil Aviation Organization
IfEV	Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung
K	
KDSI	Kilo Delivered Source Instructions
KSLOC	Kilo Source Line Of Code

L

-2LL-Wert	-2LogLikelihood-Wert
LL-Funktion	LogLikelihood-Funktion
Log	Logarithmus
LST	Leit- und Sicherungstechnik

M

Mü8004	Zulassungsrichtlinie München 1980 im April
--------	--

N

NeGSt	Neue Generation Signaltechnik
-------	-------------------------------

O

ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ORR	Office of Rail Regulation

P

PM	Personenmonate
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung

R

RAK	Risikoakzeptanzkriterium
RAMS	Reliability Availability Maintainability Safety (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, und Sicherheit)

S

SBB	Schweizer Bundesbahnen
SF	Skalenfaktoren
SichErm	Sicherheitliches Ermessen

SIL	Sicherheitsintegritätslevel
SMS	Safety Management System
SSC	Structures, Systems and Components
SST	Safety Scanning Tool
Sv	Sachverständiger
T	
TEIV	Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung
TFZ	Triebfahrzeugführer
THR	Tolerable Hazard Rate
TSI	Technische Spezifikation für Interoperabilität
V	
VDB	Verband der Bahnindustrie in Deutschland e.V.
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmen e.V.
W	
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
Z	
ZZS	Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich Phasen der CSM und der EN 50126. Siehe [ERA08]	13
Abbildung 2: Signifikanzbewertung gemäß CSM-Verordnung	17
Abbildung 3: Umgang mit Änderungen in Abhängigkeit von ihrer Einführung. Siehe [ERA09]	21
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung. Siehe [ERA09]	22
Abbildung 5: Ergebnisdarstellung mit Hilfe der „Web-Charts“ im Safety Scanning Tool	37
Abbildung 6: Schema zur Bewertung von wesentlichen Änderungen. Siehe [SIE10]	46
Abbildung 7: Ablaufverfahren zur Einstufung von Änderungen. Siehe [BMU11]	52
Abbildung 8: Ablaufdiagramm Signifikanzprüfung. Siehe [KUN11]	64
Abbildung 9: Einstufungsmatrix der ÖBB. Siehe [KUN11]	66
Abbildung 10: Gefährdungsszenarien im Verfahren der SBB. Siehe [SHA10]	68
Abbildung 11: Entscheidungsmatrix des ORR-Verfahrens. Siehe [ORR10]	75
Abbildung 12: Signifikanzentscheidung für unterschiedliche Systeme. Siehe [VDB10]]	79
Abbildung 13: Tabelle der Signifikanzbewertung für steuernde Systeme. Siehe [VDB10]	79
Abbildung 14: Betrachtung der Signifikanz von Änderungen nach TEIV. Siehe [VDB10]	80
Abbildung 15: Signifikanzmatrix des DB-Verfahrens. Siehe [GEI12]	84
Abbildung 16: Anwendung der CSM aus Sicht der ERA. Siehe [ERA13 ²]	95
Abbildung 17: Verständnis der DB AG für den CSM-Prozess. Siehe [HOL13]	96
Abbildung 18: Einordnung des Verfahrens zur Signifikanzbewertung	100
Abbildung 19: Geometrische Darstellung der Diskriminanzanalyse	117
Abbildung 20: Darstellung der Diskriminanzachse	118
Abbildung 21: Diagramm der Diskriminanzwerte der untersuchten Beispiele	138
Abbildung 22: Sicherheitsmodell eines technischen Systems. Siehe [ECA11 ²]	153
Abbildung 23: Ablaufdiagramm ORR- Verfahren. Siehe [ORR10]	160
Abbildung 24: Übersicht über den gesamten CSM-Prozess	179

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die wesentlichen Teile der Eisenbahnsicherheitsrichtlinie	5
Tabelle 2: Anforderungen an das SMS	6
Tabelle 3: Vergleich der Phasen CSM-Risikomanagementprozess mit EN 50126	12
Tabelle 4: Bewertung des Beispiels „Erhöhung der Verkehrsdichte“	25
Tabelle 5: Bewertung des Beispiels „Bahnübergang“	26
Tabelle 6: Bewertung des Beispiels „GSM-R zur Informationsübertragung“	26
Tabelle 7: Bewertung des Beispiels „Triebfahrzeugführer“	27
Tabelle 8: Bewertung des Beispiels „Outsourcing“	27
Tabelle 9: Erläuterung der Gewichtungskategorien	36
Tabelle 10: Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsarchitektur	37
Tabelle 11: Phasen der E-OCVM	38
Tabelle 12: Vergleich CSM-Kriterien mit den Safety Fundamentals	42
Tabelle 13: Gegenüberstellung der Teilbereiche der beiden Verfahren	47
Tabelle 14: Indikatoren für Einstufung der Änderung in Kategorie A, B oder C	53
Tabelle 15: Übersicht über die Skalenfaktoren des COCOMO II-Modells	58
Tabelle 16: Kostentreiber im Bereich der Produktfaktoren	59
Tabelle 17: Vergleich der CSM-Kriterien mit den Einflussfaktoren aus COCOMO II	60
Tabelle 18: Bereiche für sicherheitsrelevante Änderungen	69
Tabelle 19: Übersicht über das Verständnis der Kriterien in [SHA10]	70
Tabelle 20: Einteilung der Systeme in drei Gruppen	78
Tabelle 21: Beschreibung der Kriterien des DB-Verfahrens	83
Tabelle 22: Ermittlung der Unsicherheit der Einschätzung	87
Tabelle 23: Beschreibung der für die CSM-Verordnung relevanten Änderungen	98
Tabelle 24: Kriterien zur Bewertung von Änderungen an technischen Systemen	110
Tabelle 25: Kriterien zur Bewertung von Änderungen an Prozessen und Verfahren	111
Tabelle 26: Unterteilung der struktur-prüfenden Verfahren	115
Tabelle 27: Übersicht über die bewerteten NeGSt-Beispiele	122

Tabelle 28: Übersicht über die bewerteten ERA-Beispiele	123
Tabelle 29: Übersicht über die Beispiele aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen	124
Tabelle 30: Log-Determinanten zur Betrachtung der Kovarianz-Matrizen	127
Tabelle 31: Box-M-Test der Prüfung der Gleichheit der Kovarianz-Matrizen	127
Tabelle 32: Untersuchung der unabhängigen Variablen auf Multikollinearität	128
Tabelle 33: Kanonische Diskriminanzkoeffizienten sowie die Gruppen-Zentroiden	129
Tabelle 34: Statistische Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion	130
Tabelle 35: Standardisierte Koeffizienten der Diskriminanzfunktion	131
Tabelle 36: Übersicht über die Strukturkoeffizienten	132
Tabelle 37: Koeffizienten der Diskriminanzfunktion ohne „Umkehrbarkeit“	133
Tabelle 38: Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion ohne „Umkehrbarkeit“	133
Tabelle 39: Koeffizienten der Diskriminanzfunktion ohne „Komplexität“	133
Tabelle 40: Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion ohne „Komplexität“	134
Tabelle 41: Klassifizierung der vorhandenen Elemente	137
Tabelle 42: Betrachtung des Beispiels Nummer 29	139
Tabelle 43: Punktwerte der Kriterien im neuen Verfahren	140
Tabelle 44: Übersicht über die Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG	147
Tabelle 45: Wesentliche Änderungen nach TEIV	148
Tabelle 46: Herkunft der Fundamentals des „Safety Scannings“	151
Tabelle 47: Gewichtung der Fundamentals im Bereich Sicherheitsmanagement	152
Tabelle 48: Die zehn grundlegenden Sicherheitsgrundsätze der IAEA	154
Tabelle 49: Kategorien von Modifikationen der IAEA	155
Tabelle 50: Kostentreiber im Bereich der Plattformfaktoren	157
Tabelle 51: Kostentreiber im Bereich der Personalfaktoren	157
Tabelle 52: Kostentreiber im Bereich der Projektfaktoren	158
Tabelle 53: Kostentreiber des Early-Design-Modells	158
Tabelle 54: Übersicht über die Zusammensetzung des Kostentreibers Facilities (FCIL)	159
Tabelle 55: Punktwerte für die Kategorien „Folge von Ausfällen“	161

Tabelle 56: Ermittlung der „Unsicherheit der Aussage über mögliche Ausfallfolgen“	161
Tabelle 57: Ermittlung der „Verschiebung der Signifikanzlinie“	161
Tabelle 58: Beispielübersicht	162
Tabelle 59: Übersicht über die bewerteten SBB-Beispiele	163
Tabelle 60: Kovarianz-Matrizen der beiden Gruppen	166
Tabelle 61: Übersicht über die Klassifizierung ohne die Variable „Komplexität“	167
Tabelle 62: Übersicht über die Klassifizierung ohne die Variable „Umkehrbarkeit“	168
Tabelle 63: Diskriminanzkoeffizienten ohne Merkmalsvariable „Komplexität“	169
Tabelle 64: Diskriminanzkoeffizienten ohne Merkmalsvariable „Umkehrbarkeit“	169
Tabelle 65: Diskriminanzkoeffizienten ohne „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“	170
Tabelle 66: Klassifizierungsergebnisse ohne „Komplexität“ und „Umkehrbarkeit“	170
Tabelle 67: Übersicht über die kreuzvalidierten Elemente und ihre Klassifikation	171
Tabelle 68: Klassifikation der vorhandenen Beispiele	172
Tabelle 69: Übersicht über tatsächliche und gerundete Punktwerte	173
Tabelle 70: Vergleich der Punktwerte beider Verfahren	174
Tabelle 71: Schätzung der Regressionskoeffizienten anhand logistischer Regression	175
Tabelle 72: Überprüfung der Güte des Gesamtmodells	175
Tabelle 73: Anteil der korrekt klassifizierten Beobachtungen	175
Tabelle 74: Prüfung der geschätzten Parameter	176
Tabelle 75: Prüfung der Relevanz der Änderung	180
Tabelle 76: Kriterien für Änderungen an technischen Systemen	181
Tabelle 77: Kriterien für Änderungen an Prozessen und Verfahren	181

13 Literaturverzeichnis

- [ANT13] Antova, M.: Die Festlegung von harmonisierten Risikoakzeptanzkriterien (RAK) als Teil der CSM-RA, Vortrag auf der SIT06 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2013.
- [AVV06] Atomrechtliche Verfahrensverordnung: Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen (AtVfV) nach §7 des Atomgesetzes, Februar 1977, zuletzt geändert am 9.Dezember 2006.
- [BAC11] Backhaus, K. et al: Multivariate Analysemethoden – Eine Anwendungsorientierte Einführung, Springer Verlag, 13. Auflage, 2011.
- [BAS10] Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung: Interpretationspapier des BMA und der Länder zum Thema „Wesentliche Änderungen von Maschinen“, 7.September 2000.
- [BER97] Berg, H.P. - Kerntechnische Gesellschaft e.V.: Klassifizierung von Systemen und Komponenten in kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Tagungsbericht Jahrestagung Kerntechnik 97, Mai 1997.
- [BER11] Berg, H.P.: Klassifizierung von Änderungen hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz, Vortrag auf der SiT04 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2011.
- [BER13] Gespräch mit Prof. Dr. Heinz-Peter Berg bei der Siemens AG Standort Braunschweig Ackerstraße am 07.08.2013.
- [BMU11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr: Landeseinheitliches Änderungsverfahren Aufsichtshandbuch, September 2011.
- [BMU12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, vom 22. November 2012, Bundesanzeiger AT 24.01.2013 B3.
- [BMV07] Eisenbahn-Sicherheitsverordnung vom 5. Juli 2007 (BGBl. I S. 1305, 1318), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 29. April 2011 (BGBl. I S. 705) geändert worden ist, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium der Finanzen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie mit Zustimmung des Bundesrates.
- [BOE88] Boehm, B.; Royce, W.: Ada Cocomo and the Ada Process Modell, Oktober 1988.
- [BOE00] Boehm, B. et al: Software Cost Estimation with COCOMO II, Prentice HALL PTR, 2000.

-
- [BRA05] Braband, J.: Risikoanalysen in der Eisenbahn-Automatisierung, Edition Signal + Draht im Eurailpress Tetzlaff-Haestra, 2005.
- [BRA06] Braband, J. et al: Die Cenelec-Normen zur Funktionalen Sicherheit, Edition Signal + Draht im Eurailpress Tetzlaff-Haestra, 2006.
- [BRA13] Gespräch mit Prof. Dr. Jens Braband im Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig am 31.10.2013.
- [BRA13²] Braband, J.: Efficient implementation of CSM, Vortrag und Diskussion auf der SIT06 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2013.
- [BRD11] Bundesrepublik Deutschland: Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung), Mai 1993, zuletzt geändert am 8.November 2011.
- [BRD13] Bundesrepublik Deutschland: Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), Dezember 1959, zuletzt geändert am 23.Juli 2013.
- [CEN03] CENELEC: Railway applications: Communication, signaling and processing systems – Safety related electronic systems for signaling. EN 50129:2003E, Februar 2003.
- [CEN99] CENELEC: Railway applications: The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). EN 50126:99E, September 1999.
- [DEI12] Schuppe, A.; Brinschwitz, S.: Problemkreis Sicherheitsbewertungsbericht nach CSM-VO, Seite 55f erschienen in Der EI-Eisenbahningenieur, Herausgeber Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V, Juni 2012.
- [DEI13] Heyle, Fabian: Revision CSM-VO: „Regelwerk“ statt „anerkannte Regeln der Technik“ – Teil 1, Seit 67ff erschienen in Der EI-Eisenbahningenieur, Herausgeber Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V, August 2013.
- [ECA11] EUROCONTROL: SRC Document 46 Safety Scanning, Edition 1.0, 14.Juni 2011.
- [ECA11²] EUROCONTROL: SRC Document 46 Annex A Safety Fundamentals for Safety Scanning, 14.Juni 2011.
- [ECB11] EUROCONTROL: SRC Document 46 Annex B Guidance for Moderating a Safety Scanning Event, 14.Juni 2011.
- [ECC11] EUROCONTROL: SRC Document 46 Annex C Guidance on Interpreting and Using the Safety Scanning Results, 14.Juni 2011.

-
- [ECD11] EUROCONTROL: SRC Document 46 Annex D Supporting Regulatory Tasks with Safety Scanning, 14.Juni 2011.
- [ECK02] Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; Rengers, M.: Multivariate Statistik – Grundlagen – Methoden – Beispiele, Gabler Verlag, 1. Auflage, September 2002.
- [EKR13] Europäische Kommission: Draft proposal for a Council Directive amending Directive 2009/71/EURATOM establishing a Community Framework for the nuclear safety of nuclear installations, Juni 2013.
- [ERA08] European Railway Agency: Collection of examples of risk assessments and of some possible tools supporting the CSM Regulation, ERA/GUI/02-2008/SAF, Januar 2008.
- [ERA08²] European Railway Agency, Safety Unit, CSM Working Group: Note on significant changes, Version 0.3, Januar 2008.
- [ERA09] European Railway Agency: Guide for the application of the Commission Regulation on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6(3)(a) of the Railway Safety Directive, ERA/GUI/01-2008/SAF, Januar 2009.
- [ERA09²] European Railway Agency: Collection of Examples of risk assessments and of some possible tools supporting the CSM Regulation, Januar 2009.
- [ERA09³] European Railway Agency: Terms of Reference for Dissemination of EC CSM Regulation on Risk Assessment, Version 1.2, Juni 2009.
- [ERA13] European Railway Agency: Implementation Guidance for CSIs, Annex 1 of Directive 2004/49/EC as amended by Directive 2009/149/EC, ERA/GUI/09-2013, Mai 2013.
- [ERA13²] European Railway Agency: Revision of Regulation 352/2009 on a CSM on risk assessment – German experience with the CSM, Februar 2013.
- [EUK09] Verordnung (EG) Nr. 352/2009 der Kommission vom 24. April 2009 über die Festlegung einer gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken gemäß Artikel 6 Absatz 3 Buchstabe a der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.
- [EUK09²] Entscheidung der Kommission vom 5. Juni 2009 über den Erlass einer gemeinsamen Sicherheitsmethode zur Bewertung der Erreichung gemeinsamer Sicherheitsziele gemäß Artikel 6 der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2009/460/EG).
- [EUK09³] Richtlinie 2009/149/EG der Kommission vom 27. November 2009 zur Änderung der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf gemeinsame Sicherheitsindikatoren und gemeinsame Methoden für die Unfallkostenberechnung.

-
- [EUK10] Verordnung (EU) Nr. 1158/2010 der Kommission vom 9. Dezember 2010 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Anforderungen an die Ausstellung von Eisenbahnsicherheitsbescheinigungen.
- [EUK10²] Verordnung (EU) Nr. 1169/2010 der Kommission vom 10. Dezember 2010 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Anforderungen an die Erteilung von Eisenbahnsicherheitsgenehmigungen.
- [EUK12] Verordnung (EU) Nr. 1077/2012 der Kommission vom 16. November 2012 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Überwachung durch die nationalen Sicherheitsbehörden nach Erteilung einer Sicherheitsbescheinigung oder Sicherheitsgenehmigung.
- [EUK12²] Verordnung (EU) Nr. 1078/2012 der Kommission vom 16. November 2012 über eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Kontrolle, die von Eisenbahnunternehmen und Fahrwegbetreibern, denen eine Sicherheitsbescheinigung beziehungsweise Sicherheitsgenehmigung erteilt wurde, sowie von den für die Instandhaltung zuständigen Stellen anzuwenden ist.
- [EUK13] Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 der Kommission vom 30. April 2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 352/2009.
- [EUP04] Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Endgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung („Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit“).
- [EUP04²] Verordnung (EG) Nr. 881/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 zur Errichtung einer Europäischen Eisenbahnagentur („Agenturverordnung“).
- [EUP06] Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).
- [EUP08] Richtlinie 2008/57/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (Neufassung).

-
- [EUR09] European Railway Agency: Presentation on „Dissemination of the Commission Regulation on Common Safety Methods (CSM) on Risk Evaluation and Risk Assessment“, Juni 2009.
- [FRI09] Fried, R. et al: Multivariate Statistik, Fachbereich Statistik der Universität Dortmund, 2009.
- [GEI12] Geisler, M.;Halbekath, J.: Ein Modell zur Signifikanzentscheidung nach CSM-RA bei technischen, betrieblichen und organisatorischen Änderungen, Vortrag auf der SIT05 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2012.
- [HEY13] Heyle, F.: Die anerkannten Regeln der Technik im Eisenbahnrecht - Betrachtung der Definitionen seit RGSt 44, 76, Urteil vom 11.10.1910 und Folgerungen für CSM (Verordnungen (EG) Nr. 352/2009 und 409/2013), Vortrag auf der SIT06 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2013.
- [HOL13] Holst, N.: Umsetzung der CSM-RA bei der Deutschen Bahn, Vortrag und Diskussion auf der SIT06 des IfEVs an der Technischen Universität Braunschweig, November 2013.
- [HOL13²] Emailverkehr mit Niko Holst von der DB AG aus dem Geschäftsbereich SQ-Risikomanagement, -Grundsätze (TQP1) am 20.12.2013.
- [IAE01] International Atomic Energy Agency: Modifications to Nuclear Power Plants – Safety Guide No. NS-G-2.3, Oktober 2001.
- [IAE06] International Atomic Energy Agency: Fundamental Safety Principles – Safety Standards No. SF -1, 2006.
- [IAE12] International Atomic Energy Agency: Safety of Nuclear Power Plants: Design - Specific Safety Requirements, Januar 2012.
- [KÖH12] Besprechung mit Köhler, M., Siemens AG Braunschweig, November 2012.
- [KUN10] Kunz, M.: Verfahren der ÖBB Infrastruktur AG zur Beurteilung der Signifikanz, Januar 2010.
- [KUN11] Kunz, M.: Verordnung (EG) 352/2009 aus Sicht der ÖBB Infrastruktur AG, Vortrag auf der 13. Jahresfachtagung für Eisenbahn-Sachverständige, Fulda, Februar 2011.
- [LEI10] Leimbach, T.: Die Geschichte der Softwarebranche in Deutschland - Entwicklung und Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologie zwischen den 1950ern und heute, InauguralDissertation an der LudwigMaximiliansUniversität München, 2010.
- [LMU13] Landesministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg: Konzeption für die staatliche Aufsicht über die baden-württembergischen Kernkraftwerke, Februar 2013.

-
- [MIL11] Milius, B.; Petrek, N.: Adapting the Air Traffic Management Safety Screening Technique for Railways, ESREL 2011 in Troyes, France.
- [ORR10] Office of Rail Regulation: ORR guidance on the application of the common safety method (CSM) on risk assessment and evaluation, September 2010.
- [PET09] Petrek, N.: Bewertung der Eignung der Safety Screening Technique im Eisenbahnwesen, Studienarbeit an der Technischen Universität Braunschweig, März 2009.
- [SBB13] Schweizer Bundesamt für Verkehr: Umsetzungshilfe SMS zur Richtlinie 2004/49/EG zum Erlangen von Netzzugangsbewilligung und Sicherheitsbescheinigung sowie Sicherheitsgenehmigung, Juli 2013.
- [SCH10] Schendera, C.: Clusteranalyse mit SPSS – Mit Faktorenanalyse, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2010.
- [SHA10] Shaha, J.: Significant Changes in the Common Safety Method (CSM) on Risk Evaluation and Assessment by the European Community, Schlussarbeit für das Weiterbildungszertifikat in Risiko & Sicherheit technischer Systeme der ETH Zürich, Mai 2010.
- [SIE10] Siemens CT SR: Retrofit von Maschinen, Technische Regelsetzung im EG-Binnenmarkt, Ausgabe 2010-06.
- [SNE10] Sneed, H; Seidl, R.; Baumgartner, M.: Software in Zahlen – Die Vermessung von Applikationen, Hanser Verlag, 2010.
- [STR07] Straeter, O.; et al: Safety Screening Technique, Edition Number 1.0, September 2007.
- [TÜV12] TÜV Rheinland Consulting GmbH: Neue Generation Signaltechnik, Sektorweite Initiative zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit der Leit- und Sicherungstechnik, Teilbericht AP2100 – Signifikanz von Änderungen auf Grundlage relevanter Regelwerke, August 2012.
- [TÜV13] TÜV Rheinland Consulting GmbH: Neue Generation Signaltechnik, Sektorweite Initiative zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit der Leit- und Sicherungstechnik, Teilbericht AP2100 – Signifikanzbewertung von Änderungen an technischen Systemen auf Grundlage Ausfallfolgen-Unsicherheits-Matrix, April 2013.
- [TÜV13²] TÜV Rheinland Consulting GmbH: Neue Generation Signaltechnik, Sektorweite Initiative zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit der Leit- und Sicherungstechnik, Teilbericht AP2100 – Erfüllung der CSM VO durch Anwendung der CENELEC-Normen, Januar 2013.
- [VDB10] Verband der Bahnindustrie e.V.: Neue Typzulassung - Entwurf der Prozessbeschreibung, November 2010.

- [VDB10²] Verband der Bahnindustrie e.V.: CSM-Verordnung – Ad-hoc-Arbeitsgruppe, März 2010.
- [VDB11] Besprechung beim VDB e.V., Berlin, Mai 2011.
- [WEN08] Western European Nuclear Regulators Association: WENRA Reactor Safety Reference Levels, Januar 2008.